



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS
EDIFICIOS “HALL PRINCIPAL, GOBERNANTES Y CONSULTA
EXTERNA DEL HOSPITAL REGIONAL DE AMBATO” TOMANDO EN
CONSIDERACIÓN EL CEC 2002, LA NEC-11 (MÉTODO TRADICIONAL)
VS. MÉTODO DE AISLACIÓN SÍSMICA DE BASE (NCH-2745).
MODELACIÓN ETABS.**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

ESCOBAR ROMERO OSCAR VLADIMIR

TUTOR:

ING. JORGE VÁSQUEZ NARVÁEZ

QUITO - ECUADOR

2 013

DEDICATORIA

*Al emprender una jornada de la vida,
es menester trazarse objetivos claros
y cultivar fuerza interior para al paso
que la férrea voluntad sea la guía.*

*Hoy que avizoro tan cerca el sueño ufano,
¡oh! bella realidad que palpo con mi mano
y que el sentir aflora de modo elevado
considero que es justo y de mi agrado:*

DEDICAR EL TRABAJO A MIS QUERIDOS PADRES

*Porque son fuerza espiritual en mí accionar,
porque son ejemplo de trabajo y tenacidad,
porque su apoyo decidido e incondicional
hizo de mí hombre de bien y nuevo profesional.*

Oscar Vladímir

AGRADECIMIENTO

*El tiempo ha transcurrido y ha dejado indelebles huellas
porque adentrando al mundo del conocimiento, rompe barreras,
armando participativamente el andamiaje de un profesional
ávido por poner al servicio eficiente de la sociedad entera
todo el bagaje de conocimiento y experiencia que adquiriera
por el sendero que sosiega, enriquece, libera y apasiona.*

POR ELLO MI EFUSIVO Y ETERNO AGRADECIMIENTO

*A Dios, que con su infinita bondad me ha dado vida y fuerza
de hacer de cada dificultad, una fortaleza y experiencia nueva;
A la Universidad Central del Ecuador por abrirme sus puertas,
a los catedráticos que impartieron su saber con solvencia intelectual,
al Asesor de Tesis, Ing. Jorge Vásquez, de manera especial
quien oportunamente me brindó asesoría en forma puntual
en mi trabajo investigativo que hoy fluye con verdad;
a los maestros lectores:
Ing. Washington Benavides e Ing. Ángel Aguirre
que aportaron con su criterio invaluable y profesional;
a mis compañeros con quienes a más de confirmar la amistad
hicimos de cada asignatura hazaña victoriosa hasta el final y
a mi unida familia que con su afecto y confianza fueron pedestal.*

Oscar Vladimír

AUTORIZACIÓN DE LA AUTORIA INTELECTUAL

Yo, ESCOBAR ROMERO OSCAR VLADIMIR en calidad de autor del trabajo de investigación o tesis realizada sobre **“COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS “HALL PRINCIPAL, GOBERNANTES Y CONSULTA EXTERNA DEL HOSPITAL REGIONAL DE AMBATO” TOMANDO EN CONSIDERACIÓN EL CEC 2002, LA NEC-11 (MÉTODO TRADICIONAL) VS. MÉTODO DE AISLACIÓN SÍSMICA DE BASE (NCH-2745). MODELACIÓN ETABS”**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me corresponden, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes a la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Quito, Día 26 de Junio del 2013




Escobar Romero Oscar Vladimir
CC: 0401512280

CERTIFICACIÓN

En calidad de Tutor del proyecto de investigación:

**“COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS
“HALL PRINCIPAL, GOBERNANTES Y CONSULTA EXTERNA DEL HOSPITAL
REGIONAL DE AMBATO” TOMANDO EN CONSIDERACION EL CEC 2002, LA
NEC-11 (METODO TRADICIONAL) VS. METODO DE AISLACION SISMICA DE
BASE (NCH-2745). MODELACION ETABS”**, presentado y desarrollado por el
señor: ESCOBAR ROMERO OSCAR VLADIMIR, previo a la obtención del
Título de Ingeniero Civil, considero que el proyecto reúne los requisitos
necesarios.

En la ciudad de Quito, a los 26 días del mes de Junio del 2013.



ING. JORGE ANIVAL VÁSQUEZ NARVÁEZ

**INFORME SOBRE LA CULMINACIÓN
DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN**

TÍTULO: “COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS “HALL PRINCIPAL, GOBERNANTES Y CONSULTA EXTERNA DEL HOSPITAL REGIONAL DE AMBATO” TOMANDO EN CONSIDERACIÓN EL CEC 2002, LA NEC-11 (MÉTODO TRADICIONAL) VERSUS. MÉTODO DE AISLACIÓN SÍSMICA DE BASE (NCH-2745). MODELACIÓN ETABS.”

TUTOR: Ing. JORGE VÁSQUEZ NARVÁEZ

FECHA: 26 de Junio del 2013

1.- Antecedentes:

- El Director de la Carrera de Ingeniería Civil solicita el informe previo a la aprobación por Consejo Directivo de la Facultad, sobre el plan del trabajo de graduación para obtener el título de Ingeniero Civil presentado por el señor ESCOBAR ROMERO OSCAR VLADIMIR, titulado “Comparación del comportamiento estructural de los edificios “Hall Principal, Gobernantes y Consulta Externa del Hospital Regional de Ambato” tomando en consideración el CEC-2002, la NEC-11 (método tradicional) versus. Método de aislación sísmica de base (NCH-2745). Modelación Etabs”.
- Con oficio FI-DCIC-2012-624 del 17 de Octubre del 2012, el Director de la Carrera de Ingeniería Civil en base a los informes favorables de los ingenieros miembros de la comisión, AUTORIZA la correspondiente denuncia de tesis y ordena al suscrito que en calidad de TUTOR, analice, dirija y oriente el trabajo y al concluir emita un informe.

2.- Desarrollo del Trabajo de Graduación:

Para dar cumplimiento a lo ordenado se procedió a organizar la ejecución del trabajo y el graduando realizó bajo mi supervisión las siguientes actividades:

- Inició la recolección del material bibliográfico necesario para el desarrollo del Trabajo de Graduación, consistente básicamente en normas relacionadas con el tema propuesto y más estándares para los diseños de los edificios.
- Analizó los planos arquitectónicos de los edificios, para recolectar

información preliminar e iniciar el estudio de las estructuras convencionales.

- Realizó los modelos computacionales en el paquete Etabs 9.7.2, para los análisis y diseños de las estructuras convencionales, tomando en cuenta el Código Ecuatoriano de la Construcción y la Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Estudió los métodos de análisis y diseño de sistemas de aislación sísmica de base, basándose en la NCh-2745-2003 (Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica-Requisitos); los mismos que se modelaron en el paquete Etabs 9.7.2; para este último se tomó referencia el método propuesto por el Dr. Aguiar Falconí.
- Obtenidos los resultados procedió al análisis, identificando las diferencias y semejanzas generales entre los modelos en Etabs presentados, así como entre las secciones transversales, cantidades de refuerzo y demás factores derivados de los diseños ejecutados.
- Paralelamente a la ejecución de las actividades anotadas, el graduando redactó la memoria del Trabajo de Graduación, la cual fue revisada y corregida no solamente desde el punto de vista del contenido, sino también del estilo y de la forma, cumpliendo en lo posible con las exigencias de la redacción académica.

3.- Conclusiones:

Se determinan las siguientes conclusiones generales.

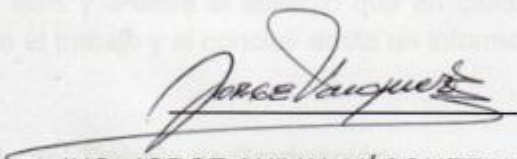
- Se cumplió el 100% de los objetivos planteados,
- De manera satisfactoria se logró la implementación del paquete Etabs 9.7.2 en el modelamiento de edificaciones con sistemas de aislación basal,
- Las edificaciones con sistemas de aislación de base, presentan notorias ventajas desde el punto de vista estructural y de diseño.

Recomendación:

- Es necesario que la Universidad Central y la Facultad de Ingeniería,

disponga de equipos especializados en donde se puedan realizar modelos físicos de aisladores sísmicos, para que de esta manera se logre implementar edificaciones con este sistema en nuestro país.

Atentamente:



ING. JORGE ANIVAL VÁSQUEZ NARVÁEZ



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA
SECRETARÍA

RESULTADO DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

CARRERA DE Ingeniería Civil

Quito, 18 de Junio del 2013...

Señor Escobar Romero Oscar Vladimir

Tema: COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS

"HALL PRINCIPAL GOBERNANTES Y CONSULTA EXTERNA DEL HOSPITAL REGIONAL DE AMBATO"

TOmando EN CONSIDERACIÓN EL CBC2002, LA NBC-11 (MÉTODO TRADICIONAL) VERSUS MÉTODO

DE AISLACIÓN SÍSMICA DE BASE (NBC-2745), MODELACIÓN ETABS

CALIFICACIÓN:

TRIBUNAL	PROFESOR (A)	NOTA SOBRE VEINTE		FIRMA
		NUMERO	LETRAS	
PROFESOR TITULAR	ING. ANGEL AGUIRRE	20	VEINTE	
PROFESOR TITULAR	ING. WASHINGTON BENAVIDES	20	VEINTE	
PROMEDIO		20	VEINTE	

Dra. Katherine Carrión Valdivieso
SECRETARIA ABOGADA (E)



CONTENIDO:

CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1.1. INGENIERÍA SISMICA	3
1.1.2. IMPACTO ECONÓMICO DE LOS DAÑOS EN EDIFICIOS PRODUCIDOS POR SISMOS	6
1.2. OBJETIVOS	10
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	10
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
1.3. METODOLOGÍA	11
CAPÍTULO II	14
2. FUNDAMENTOS Y SISTEMAS DE AISLACIÓN BASAL	14
2.1. ANTECEDENTES GENERALES	14
2.2. TIPOS DE AISLACIÓN BASAL	18
2.2.1. AISLADOR ELASTOMÉRICO CONVENCIONAL	19
2.2.1.1. AISLADOR ELASTOMÉRICO DE BAJO AMORTIGUAMIENTO (LDR)	21
2.2.1.2. AISLADOR ELASTOMÉRICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)	22
2.2.2. AISLADOR ELASTOMÉRICO CON NÚCLEO DE PLOMO (LRB)	23
2.2.3. AISLADOR PÉNDULO FRICCIONAL (FPS)	24
2.2.4. EXPERIENCIA MUNDIAL Y EN ECUADOR	27
CAPÍTULO III	33
3. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS EDIFICIOS	33
3.1. VALORES CARACTERÍSTICOS, MODOS DE VIBRACIÓN	33
3.2. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS (TRADICIONAL)	37
3.3. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS CON AISLACIÓN SÍSMICA	63
3.4. PRE-DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LOS EDIFICIOS	78
CAPÍTULO IV	107
4. NORMAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE EDIFICACIONES SISMO-RESISTENTES	107
4.1. CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN	107
4.1.1. FILOSOFÍA DE DISEÑO SISMO-RESISTENTE	108

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

4.1.2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LAS FUERZAS SÍSMICAS ESTÁTICAS _____	109
4.1.3. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL ESPECTRO SÍSMICO ELÁSTICO DE ACCELERACIONES _____	118
4.2. NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-11 _____	119
4.2.1. FILOSOFÍA DE DISEÑO SISMO-RESISTENTE _____	120
4.2.2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE FUERZAS SÍSMICAS ESTÁTICAS _____	123
4.2.3. ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO EN ACCELERACIONES _____	131
4.3. NORMA CHILENA DE ANALISIS Y DISEÑO DE EDIFICIOS CON AISLACIÓN SÍSMICA NCH2745 _____	134
4.3.1. FILOSOFÍA DE DISEÑO _____	136
4.3.2. COMPARACIÓN DE NORMAS CEC 2002, NEC-11 Y NCH-2745 _____	137
CAPÍTULO V _____	139
5. CÁLCULO DE LAS FUERZAS SÍSMICAS CORRESPONDIENTES A LAS NORMAS APLICADAS EN LOS EDIFICIOS _____	139
5.1. FUERZAS SÍSMICAS ESTÁTICAS SEGÚN LA NEC-11 _____	139
5.2. ESPECTRO SÍSMICO DE ACCELERACIONES SEGÚN LA NEC-11 _____	144
5.3. FUERZAS SÍSMICAS ESTÁTICAS SEGÚN CEC 2002 _____	164
5.4. ESPECTRO SÍSMICO ELÁSTICO DE ACCELERACIONES SEGÚN EL CEC 2002 _____	170
5.5. COMPARACIÓN DE RESULTADOS _____	183
5.5.1. COMPARACIÓN NUMÉRICA DE FUERZAS SÍSMICAS _____	183
5.5.2. COMPARACIÓN GRÁFICA DE ESPECTROS DE RESPUESTA _____	185
CAPÍTULO VI _____	192
6.1 MODELO DE LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL SEGÚN LA NEC-11 _____	192
MODOS DE VIBRACIÓN DE LOS MODELOS _____	195
DERIVA DE PISO DE LOS MODELOS _____	205
CONSIDERACIÓN DE LOS EFECTOS P - U _____	210
6.1.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL SEGÚN EL ACI318-08 _____	212
CANTIDAD DE ACERO Y NÚMERO DE VARILLAS EN LAS COLUMNAS DE LOS EDIFICIOS _____	213
HALL CENTRAL: _____	213
NÚMERO DE VARILLAS POR TIPO DE COLUMNA _____	213
GOBERNANTES: _____	213
NÚMERO DE VARILLAS POR TIPO DE COLUMNA _____	215
CONSULTA EXTERNA UNO: _____	215

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

NÚMERO DE VARILLAS POR TIPO DE COLUMNA _____	217
CONSULTA EXTERNA DOS: _____	218
NÚMERO DE VARILLAS POR TIPO DE COLUMNA _____	220
ACERO EN LAS VIGAS POR PÓRTICOS EN LOS EDIFICIOS _____	221
HALL CENTRAL: _____	221
GOBERNANTES: _____	226
CONSULTA EXTERNA UNO: _____	231
CONSULTA EXTERNA DOS: _____	236
6.2 MODELO DE LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL SEGÚN EL CEC-2002 _____	242
MODOS DE VIBRACIÓN DE LOS MODELOS _____	242
DERIVA DE PISO DE LOS MODELOS _____	246
CONSIDERACIÓN DE LOS EFECTOS P - U _____	250
6.2.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL SEGÚN EL ACI318-08 _____	252
NÚMERO DE VARILLAS POR TIPO DE COLUMNA: _____	253
HALL CENTRAL: _____	253
GOBERNANTES: _____	253
CONSULTA EXTERNA UNO: _____	253
CONSULTA EXTERNA DOS: _____	254
ACERO EN LAS VIGAS POR PÓRTICOS EN LOS EDIFICIOS _____	254
HALL CENTRAL: _____	254
GOBERNANTES: _____	256
CONSULTA EXTERNA UNO: _____	257
CONSULTA EXTERNA DOS: _____	258
6.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS QUE ARROJAN LOS MODELOS _____	259
MODOS DE VIBRACIÓN: _____	259
CONCLUSIONES: _____	261
DERIVAS DE PISO: _____	262
CONCLUSIONES: _____	263
EFFECTOS P-U _____	265
CONCLUSIONES: _____	266
ACERO EN LAS COLUMNAS: _____	266
ACERO EN VIGAS: _____	266

CAPÍTULO VII	268
7.0. AISLAMIENTO BASAL DE LAS ESTRUCTURAS	268
7.1. CONDICIONES GENERALES EN EL DISEÑO DE LA AISLACIÓN BASAL	268
7.2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE AISLACIÓN BASAL PARA LAS ESTRUCTURAS	270
7.3. DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE AISLACIÓN	270
7.4. AISLADOR ELASTOMÉRICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)	272
7.4.1. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN AISLADOR	272
7.4.2. DISEÑO DEL AISLADOR (HDR)	283
7.5. AISLADOR ELASTOMÉRICO CON NÚCLEO DE PLOMO	290
7.5.1. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN AISLADOR	290
7.5.2. DISEÑO DEL AISLADOR (LBR)	302
7.6. ANÁLISIS BILINEAL	315
7.6.1. PARÁMETROS ADICIONALES	317
CAPÍTULO VIII	329
8.0. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA AISLADA	329
8.1. ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL (ADNL)	329
8.2. DEFINICIÓN DE REGISTROS (ACELEROGRAMAS)	331
8.3. RESULTADOS DEL ADNL APLICADO AL EDIFICIO GOBERNANTES	332
8.3.1. VERIFICACIÓN Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE AISLACIÓN	332
8.3.2. DESPLAZAMIENTO DEL SISTEMA DE AISLACIÓN	338
8.3.3. DESPLAZAMIENTO RELATIVO DE LA SUPERESTRUCTURA	341
8.3.4. ACELERACIONES ESPECTRALES DE RESPUESTA	345
8.3.5. CORTANTE BASAL DE LA ESTRUCTURA	348
8.4. COMPARACIÓN DE COMPORTAMIENTO; ESTRUCTURA CONVENCIONAL VERSUS ESTRUCTURA AISLADA	353
8.4.1. DESPLAZAMIENTO RELATIVO; ESTRUCTURA AISLADA Y BASE FIJA	355
8.4.2. ACELERACIÓN ESPECTRAL DE RESPUESTA; ESTRUCTURA AISLADA VS. ESTRUCTURA BASE FIJA	362
8.4.3. CORTANTE BASAL DE RESPUESTA; ESTRUCTURA CONVENCIONAL VS. ESTRUCTURA AISLADA (HDR).	366
8.5. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA AISLADA	372
8.6. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO AISLADO (HDR) VERSUS EL DISEÑO CONVENCIONAL NEC-11	388

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

CAPÍTULO IX	395
9.1 CONCLUSIONES	395
9.2. RECOMENDACIONES	400
GLOSARIO DE TERMINOS:	403
BIBLIOGRAFÍA:	408
LIBROS, TESIS Y PUBLICACIONES:	408
NORMAS Y CÓDIGOS:	409
REFERENCIAS ELECTRONICAS:	410
ANEXO A.	413
SOBRECARGAS DE USO (CARGA VIVA)	413
ANEXO B.	416
CONTROL DE LA DERIVA DE PISO	416
ANEXO C.	417
MAPA DE ZONIFICACIÓN DE RIESGO SÍSMICO	417
ANEXO D.	418
D.1. REGISTRO EN ETAPA DE “RUN TIME” DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES	418
D.2. CENTRO DE MASAS Y CENTRO DE RIGIDECES	432
ANEXO E.	434
RESULTADOS ADICIONALES EN EL DISEÑO DE AISLADORES	434
ANEXO F.	435
ESTRUCTURA AISLADA ÓPTIMA	435
ANEXO G.	441
DETALLES Y CONFIGURACIÓN DE UN EDIFICIO AISLADO	441
ANEXO H	449
COLOCACIÓN DE AISLADORES EN UNA ESTRUCTURA EXISTENTE	449

LISTA DE FIGURAS:

Fig.2.1. Esquema de dos tipos de edificios (a) Estructura sin aislación basal; (b) estructura con aislación basal.	16
Fig. 2.2 Período Vs Aceleración	17
Fig. 2.3. Detalle de un aislador Elastomérico	20
Fig.2.4. Ubicación en obra del Aislador Elastomérico	20
Fig. 2.5. Esquema de un aislador elastomérico de bajo amortiguamiento (LDR).	21
Fig. 2.6. Ejemplo de aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento.	22
Fig. 2.7. (a) Aislador Elastomérico con núcleo de plomo y (b) Comportamiento histerético de LRB	23
Fig. 2.8. (a) Péndulo deslizante de fricción, (b) comportamiento friccionante	25
Fig.2.9. Detalle del aislador tipo FPS.	25
Fig. 2.10. Diferentes perspectivas de la ubicación del aislador tipo FPS.	26
Fig.2.11. Fire Command and Control Facility	28
Fig. 2.12 Court of Appeals	28
Fig. 2.13 Telecom, Italia	29
Fig.2.14 Parlamento,	29
Nueva Zelanda	29
Fig. 2.15 Hospital Militar, Santiago de Chile	29
Fig. 2.16 Hospital Clínico los Andes. Perspectiva	30
Fig. 2.17 Hospital Clínico los Andes. Modelo Estructural ETABS	30
Fig. 3.1 Tres grados de libertad por planta	34
Fig. 3.2 Esquema de modos de vibración	35
Fig. 3.3 Planta arquitectónica, Hall Central	41
Fig. 3.4 Fachada frontal, Hall Central	42
Fig. 3.5 Corte 2-2, Hall Central	43
Fig.3.6 Planta estructural N+3.96, 7.92, 11.88, 15.84, 19.80, 23.76m	44
Fig. 3.7 Planta estructural N+27.72m	45
Fig. 3.8 Planta estructural N+30.72m	46
Fig. 3.9 Planta arquitectónica, Gobernantes	47

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

Fig. 3.10 Corte esquemático, Gobernantes	48
Fig. 3.11 Fachada lateral, Gobernantes	49
Fig. 3.12 Planta estructural N+3.96, Gobernantes	50
Fig. 3.13 Planta estructural N+7.92, 11.88, 15.84, 19.80m; Gobernantes	51
Fig. 3.14 Planta estructural N+23.76m, Gobernantes	52
Fig. 3.15 Planta arquitectónica, Consulta Externa I y II	53
Fig. 3.16 Corte esquemático, Consulta Externa I y II	54
Fig. 3.17 Fachada este, Consulta Externa I y II	55
Fig. 3.18 Planta estructural N+3.96, Consulta Externa I	56
Fig. 3.19 Planta estructural N+3.96, Consulta Externa II	57
Fig. 3.20 Planta estructural N+7.92, Consulta Externa I	58
Fig. 3.21 Planta estructural N+7.92, Consulta Externa II	59
Fig. 3.22 Planta estructural N+11.88, Consulta Externa II	60
Fig. 3.23 Planta estructural N+11.88, Consulta Externa I	61
Fig. 3.24 Esquema de la celosía de cubierta del auditorio	62
Figura 3.25 Detalle: columna, aislador, cimentación	65
Fig. 3.26 Ubicación de aisladores HDR, Hall Central	66
Fig. 3.27 Ubicación de aisladores combinados HDR y LRB, Hall Central	67
Fig. 3.28 Ubicación de aisladores HDR, Gobernantes	70
Fig. 3.29 Ubicación de aisladores combinados HDR y LRB, Gobernantes	71
Fig. 3.30 Ubicación de aisladores HDR, Consulta Externa I	74
Fig. 3.31 Ubicación de aisladores combinados HDR y LBR, Consulta Externa I	75
Fig. 3.32 Colocación de aisladores HDR, Consulta Externa II	76
Fig. 3.33 Colocación de aisladores combinados HDR y LRB, Consulta Externa II	77
Fig. 4.1. Espectros de aceleraciones del suelo	119
Fig. 4.2. Configuraciones Estructurales No Recomendadas	128
Fig. 4.3 Espectro Sísmico Elástico de Aceleraciones	132
Fig. 5.1. Espectro Sísmico de Aceleraciones, Hall Central	148
Fig. 5.2 Espectro Sísmico de Aceleraciones, Gobernantes	153
Fig. 5.3. Espectro Sísmico de Aceleraciones, Consulta Externa I	158

Fig. 5.4. Espectro Sísmico de Aceleraciones, Consulta Externa II	163
Fig. 5.5 Espectro de Aceleración, Hall Central CEC 2002	173
Fig. 5.6 Espectro de Aceleración, Gobernantes CEC 2002	176
Fig. 5.7 Espectro de Aceleración, Consulta Externa ICEC 2002	179
Fig. 5.8 Espectro de Aceleración, Consulta Externa II CEC2002	182
Fig. 5.9 Comparación de espectros de respuesta elástica, Hall Central CEC 2002	186
Fig. 5.10 Comparación de espectros de respuesta inelástica, Hall Central CEC 2002	187
Fig. 5.11 Comparación de espectros de respuesta elástica, Gobernantes CEC 2002	188
Fig. 5.12 Comparación de espectros de repuesta inelástica, Gobernantes CEC2002	189
Fig. 5.13 Comparación de espectros de repuesta inelástica, Consulta Externa I CEC2002	190
Fig. 6.1. Modelo 3D Hall Central	192
Fig6.2. Celosía ducto Hall Central	193
Fig.6.3. Modelo 3D Gobernantes	193
Fig. 6.4. Modelo 3D Consulta Externa I	194
Fig. 6.5. Modelo 3D Consulta Externa II	194
Fig. 6.6. Cubierta de auditorio, Consulta Externa II	195
Fig.6.7. Modo 1, Pórtico M, Sentido X, Hall Central	199
Fig. 6.8. Modo 2 en Pórtico 8, Sentido Y, Hall Central	200
Fig6.9. Modo 3, Planta, Hall Central	200
Fig. 6.10. Modo 1 Pórtico I, Sentido X, Gobernantes	201
Fig. 6.11. Modo 2 Pórtico 1, Sentido Y, Gobernantes	201
Fig. 6.12. Modo 3 Planta, Gobernantes	202
Fig.6.13. Modo 1 Pórtico R, Sentido X, Consulta Externa I	202
Fig.6.14. Modo 2 en Pórtico 38, Sentido Y, Consulta Externa I	202
Fig.6.15. Modo 3 en Planta, Consulta Externa I	203
Fig.6.16. Modo 1 Pórtico Y, Sentido X, Consulta Externa II	203
Fig.6.17. Modo 2 Pórtico 43, Sentido Y, Consulta Externa II	204
Fig.6.18. Modo 3 en Planta, Consulta Externa II	204

Fig.6.19. Acero en vigas pórtico I, Hall Central	221
Fig.6.20. Acero en vigas pórtico M, Hall Central	222
Fig.6.21. Acero en vigas pórtico N, Hall Central	222
Fig.6.22. Acero en vigas pórtico O, Hall Central	223
Fig.6.23. Acero en vigas pórtico 8, Hall Central	223
Fig.6.24. Acero en vigas pórtico 9, Hall Central	224
Fig.6.25. Acero en vigas pórtico 10, Hall Central	224
Fig.6.26. Acero en vigas pórtico 11, Hall Central	225
Fig.6.27. Acero en vigas pórtico 12, Hall Central	225
Fig.6.28. Acero en vigas pórtico I, Gobernantes	226
Fig.6.29. Acero en vigas pórtico M, Gobernantes	226
Fig.6.30. Acero en vigas pórtico N, Gobernantes	227
Fig.6.31. Acero en vigas pórtico O, Gobernantes	227
Fig.6.32. Acero en vigas pórtico 1, Gobernantes	228
Fig.6.33. Acero en vigas pórtico 2, Gobernantes	228
Fig.6.34. Acero en vigas pórtico 3, Gobernantes	229
Fig.6.35. Acero en vigas pórtico 4, Gobernantes	229
Fig.6.36. Acero en vigas pórtico 5, Gobernantes	230
Fig.6.37. Acero en vigas pórtico 6, Gobernantes	230
Fig.6.38. Acero en vigas pórtico 7, Gobernantes	231
Fig.6.39. Acero en vigas pórtico P, Consulta Externa I	231
Fig.6.40. Acero en vigas pórtico Q, Consulta Externa I	232
Fig.6.41. Acero en vigas pórtico R, Consulta Externa I	232
Fig.6.42. Acero en vigas pórtico S, Consulta Externa I	232
Fig.6.43. Acero en vigas pórtico T, Consulta Externa I	233
Fig.6.44. Acero en vigas pórtico U, Consulta Externa I	233
Fig.6.45. Acero en vigas pórtico V, Consulta Externa I	233
Fig.6.46. Acero en vigas pórtico 38, Consulta Externa I	234
Fig.6.47. Acero en vigas pórtico 39, Consulta Externa I	234
Fig.6.48. Acero en vigas pórtico 40, Consulta Externa I	234
Fig.6.49. Acero en vigas pórtico 41, Consulta Externa I	235

Fig.6.50.Acero en vigas pórtico 42, Consulta Externa I	235
Fig.6.51.Acero en vigas pórtico 43, Consulta Externa I	235
Fig.6.52 Acero en vigas pórtico V, Consulta Externa II	236
Fig.6.53.Acero en vigas pórtico W, Consulta Externa II	236
Fig.6.54.Acero en vigas pórtico X, Consulta Externa II	237
Fig.6.55.Acero en vigas pórtico Y, Consulta Externa II	237
Fig.6.56.Acero en vigas pórtico Z, Consulta Externa II	238
Fig.6.57.Acero en vigas pórtico AA, Consulta Externa II	238
Fig.6.58.Acero en vigas pórtico BB, Consulta Externa II	239
Fig.6.59.Acero en vigas pórtico 38, Consulta Externa II	239
Fig.6.60.Acero en vigas pórtico 39, Consulta Externa II	240
Fig.6.61.Acero en vigas pórtico 40, Consulta Externa II	240
Fig.6.62.Acero en vigas pórtico 41, Consulta Externa II	241
Fig.6.63.Acero en vigas pórtico 42, Consulta Externa II	241
Fig.6.64.Acero en vigas pórtico 43, Consulta Externa II	242
Fig.6.65.Acero en vigas pórtico M (Crítico en x), Hall Central	255
Fig.6.66.Acero en vigas pórtico o (Crítico en Y), Hall Central	255
Fig.6.67.Acero en vigas pórtico M (Crítico en X), Gobernantes	256
Fig.6.68.Acero en vigas pórtico 1 (Crítico en Y), Gobernantes	256
Fig.6.69.Acero en vigas pórtico R (Crítico en X), Consulta Externa I	257
Fig.6.70.Acero en vigas pórtico 40 (Crítico en Y), Consulta Externa I	257
Fig.6.71.Acero en vigas pórtico 38 (Crítico en Y), Consulta Externa II	258
Fig.6.72.Acero en vigas pórtico BB (Crítico en X), Consulta Externa II	258
Fig. 7.1 Tipos de suelo según la NCh-2745	274
Fig. 7.2 Aislador HDR, Dimensionamiento planta	289
Fig. 7.3 Aislador HDR, Dimensionamiento corte	289
Fig. 7.4 Aislador LBR, Dimensionamiento planta	312
Fig. 7.5 Aislador LBR, Dimensionamiento corte	312
Fig. 7.6 Análisis bilineal	316
Fig.7.7 Diagrama t_r vs F_v	324
Fig.7.8 Diagrama t_r vs T	325

Fig.7.9 Diagrama tr vs γ max	325
Fig. 7.10 Diagrama tr vs P_{crit}/P_{max}	326
Fig.7.11 Diagrama tr vs FS_{volc}	326
Fig. 7.12 Diagrama tr vs H_r	327
Fig. 7.13 Diagrama tr vs H_t	327
Fig. 7.14 Diagrama tr vs N	328
Fig. 8.1. Modo 1 Pórtico 1, Sentido y, Gobernantes HDR	334
Fig. 8.2. Modo 2 Pórtico I, Sentido x, Gobernantes HDR	334
Fig. 8.3. Modo 3 planta, Gobernantes HDR	335
Fig. 8.4. Modo 1 Pórtico 1, Sentido y, Gobernantes HDR+LBR	337
Fig. 8.5. Modo 2 Pórtico I, Sentido x, Gobernantes HDR+LBR	337
Fig. 8.6. Modo 3 planta, Gobernantes HDR + LBR	338
Fig.8.7. Desplazamientos del sistema en X	339
Fig.8.8. Desplazamientos del sistema en Y	339
Fig.8.9. Deformaciones por pisos, Sentido X. Gobernantes	342
Fig.8.10. Deformaciones por pisos, Sentido Y. Gobernantes	343
Fig.8.11. Desplazamientos HDR Sentidos X e Y en (cm)	343
Fig.8.12. Desplazamientos HDR +LBR, Sentidos X e Y en (cm)	344
Fig.8.13. Aceleraciones Espectrales de Respuesta	347
Fig.8.14. Respuesta del Cortante Basal, Gobernantes. HDR	348
Fig.8.15. Respuesta del Cortante Basal, Gobernantes. HDR+LBR	349
Fig.8.16. Respuesta del Cortante Basal, Dirección X. Gobernantes	350
Fig.8.17. Respuesta del Cortante Basal, Dirección Y. Gobernantes	350
Fig.8.18. Respuesta del Cortante Basal, Sumatoria en X. Gobernantes	351
Fig.8.19. Respuesta del Cortante Basal, Sumatoria en Y. Gobernantes	352
Fig.8.20. Comparación: Desplazamientos en X, Aislada vs. Convencional	355
Fig.8.21. Comparación: Desplazamientos en Y, Aislada vs. Convencional	356
Fig.8.22. Comparación: Desplazamientos en X, Aislada (desplazada) vs. Convencional	358
Fig.8.23. Comparación: Desplazamientos en Y, Aislada (desplazada) vs. Convencional	358

Fig.8.24. Comparación: Aceleraciones Espectrales, Aislada (HDR) vs. Convencional	364
Fig.8.25. Comparación: Cortante Basal E. Convencional, Direcciones X e Y	366
Fig.8.26. Comparación: Cortante Basal E. Aislada (HDR), Direcciones X e Y	367
Fig.8.27 Comparación: Cortante Basal E. Aislada (HDR) y E. Convencional, Dirección X.	368
Fig.8.28. Comparación: Cortante Basal E. Aislada (HDR) y E. Convencional, Dirección Y.	368
Fig.8.29. Comparación: Cortante Basal N+00 E. Aislada (HDR) y E. Convencional, Dirección X.	371
Fig.8.30. Comparación: Cortante Basal N+00 E. Aislada (HDR) y E. Convencional, Dirección Y	371
Fig.8.31. Acero en Pórtico 1, Sentido Y, Gobernantes (HDR)	375
Fig.8.32. Acero en Pórtico 2, Sentido Y, Gobernantes (HDR)	376
Fig.8.33. Acero en Pórtico 3, Sentido Y, Gobernantes (HDR)	376
Fig.8.34. Acero en Pórtico 4, Sentido Y, Gobernantes (HDR)	377
Fig.8.35. Acero en Pórtico 5, Sentido Y, Gobernantes (HDR)	377
Fig.8.36. Acero en Pórtico 6, Sentido Y, Gobernantes (HDR)	378
Fig.8.37. Acero en Pórtico 7, Sentido Y, Gobernantes (HDR)	378
Fig.8.38. Acero en Pórtico 0, Sentido X, Gobernantes (HDR)	379
Fig.8.39. Acero en Pórtico N, Sentido X, Gobernantes (HDR)	379
Fig.8.40. Acero en Pórtico M, Sentido X, Gobernantes (HDR)	380
Fig.8.41. Acero en Pórtico L, Sentido X, Gobernantes (HDR)	380
Fig. C.1. Mapa de zonificación de riesgo sísmico	417
Fig. F.1. Acero en pórtico L, Gobernantes	436
Fig. F.2. Acero en pórtico M, Gobernantes	436
Fig. F.3. Acero en pórtico 1, Gobernantes	437
Fig. F.4. Acero en pórtico 4, Gobernantes	438
Fig. G.1. Aislador en funcionamiento	442
Fig. G.2. Aislador cubierto de material ignífugo	442
Fig. G.3. Aislador sobre muro	443
Fig. G.4. Aislador sobre muro, junta de desplazamiento	444

Fig. G.5. Disposición del aislador en caja de ascensor	445
Fig. G.6. Conexión flexible para instalaciones	446
Fig. G.7. Juntas de desplazamiento	447
Fig. G.8. Detalle, rampa de acceso	448
Fig. H.1. Condición existente	449
Fig. H.2. Instalación de refuerzo en la cimentación	450
Fig. H.3. Construcción adicional en la cimentación	450
Fig. H.4. Instalación de encofrados alrededor de las columnas	451
Fig. H.5. Instalación de estructura interna para la “gata”	451
Fig. H.6. Apoyos externos contruidos	452
Fig. H.7. Instalación de “gatas” temporales	452
Fig. H.8. Corte de columna existente	453
Fig. H.9. Instalación del aislador	453
Fig. H.9.1. Instalación del aislador 2	454
Fig. H.10. Instalación de placas de bloqueo en el aislador	454
Fig. H.11. Refuerzos de acero instalados	455
Fig. H.12. Remoción de las placas de bloqueo del aislador	455

LISTA DE TABLAS:

Tabla.3.1 Pre-dimensionamiento de viga, Hall Central	79
Tabla.3.2 Cálculo de cargas N+ 7.92, 11.88, 15.84, 19.80, 23.76, 27.72, 30.72; Hall Central	80
Tabla 3.3. Cuadros de áreas y pesos acumulados, Hall Central	82
Tabla 3.4 Cuadro de pre-diseño, Hall Central	84
Tabla 3.5 Pre-dimensionamiento de vigas/ Gober.	86
Tabla 3.6. Cálculo de cargas nivel+3.96m, Gobernantes	86
Tabla3.7 Cálculo de cargas nivel+7.92m, Gobernantes	87
Tabla3.8 Cálculo de cargas nivel+11,88;15,84m, Gobernantes	87
Tabla 3.9 Cálculo de cargas nivel+19,80m, Gobernantes	88
Tabla 3.10 Cálculo de cargas nivel+23,96m, Gobernantes	88
Tabla 3.11 Cuadro de Áreas y pesos acumulados, Gobernantes	90
Tabla 3.12 Cuadro Pre-diseño, Gobernantes	91
Tabla3.13 Pre-dimensionamiento de viga, Cons. Externa I	93
Tabla 3.14 Cálculo de cargas nivel+3.96;7.92m, Cons. Externa I	94
Tabla 3.15 Cálculo de cargas nivel+11.98m, Cons. Externa I	95
Tabla 3.16 Cuadro de áreas y pesos acumulados, Cons. Externa I	97
Tabla 3.17 Cuadro pre-diseño, Cons. Externa I	98
Tabla3.18 Pre-dimensionamiento de viga, Cons Externa II	100
Tabla 3.19 Cálculo de cargas nivel+3.96; 7.92m, Cons.Externa II	101
Tabla 3.20 Cálculo de cargas nivel+11.88m, Cons. Externa II	102
Tabla3.21 Cuadro de áreas y pesos acumulados, Cons .Externa II	104
Tabla 3.22 Cuadro pre-diseño, Cons. Externa II	105
Tabla 4.1: Coeficiente de suelo S y coeficiente Cm	114
Tabla 4.2: Coeficientes de configuración en planta	115
Tabla 4.3: Coeficientes de configuración en elevación	116
Tabla 4.4: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura	117
Tabla 4.5: Coeficiente de reducción de respuesta estructural	117
Tabla 4.6. Tipo de uso, Destino e Importancia	126
Tabla 4.7. Coeficiente de Reducción de Respuesta Estructural	127

Tabla 4.8. Irregularidades en Planta	129
Tabla 4.9. Irregularidades en Elevación	130
Tabla 4.10 Tipos de Suelo	133
Tabla 4.12. Tipo de suelo y factores de sitio F_a	134
Tabla 4.13. Tipo de suelo y factores de sitio F_d	134
Tabla 4.14. Tipo de suelo y factores de comportamiento inelástico F_s	134
Tabla 5.2 Espectro inelástico, Hall Central	146
Tabla 5.1 Espectro elástico, Hall Central	146
Tabla 5.3 Modos de vibración distal fundamental, Hall Central	147
Tabla 5.5 Espectro inelástico, Gobernantes	151
Tabla 5.4 Espectro elástico, Gobernantes	151
Tabla 5.6 Modos de vibración distal fundamental, Gobernantes	152
Tabla 5.8 Espectro inelástico, Cons. Externa I)	156
Tabla 5.7 Espectro elástico, Cons. Externa I)	156
Tabla 5.9 Modos de vibración distal fundamental, Cons. Externa I	157
Tabla 5.11 Espectro inelástico, Cons. Externa II)	161
Tabla 5.10 Espectro elástico, Cons. Externa II)	161
Tabla 5.12 Modos de vibración distal fundamental, Cons. Externa II	162
Tabla 5.13 Cuadro de áreas y pesos acumulado, Hall Central CEC2002	164
Tabla 5.14 Cuadro de áreas y pesos acumulados, Gober. CEC 2002	166
Tabla 5.15 Cuadro de áreas y pesos acumulados, Cons. Externa I CEC2002	167
Tabla 5.16 Cuadro de áreas y pesos acumulados, Cons. Externa II CEC2002	169
Tabla 5.18 Espectro inelástico, Hall Central CEC2002)	172
Tabla 5.17 Espectro elástico, Hall Central CEC2002)	172
Tabla 5.20 Espectro inelástico, Gober. CEC2002)	175
Tabla 5.19 Espectro elástico, Gober. CEC2002)	175
Tabla 5.22 Espectro inelástico, Cons. Externa I CEC2002)	178
Tabla 5.21 Espectro elástico, Cons. Externa I CEC2002)	178
Tabla 5.24 Espectro inelástico, Cons. Externa II CEC2002)	181
Tabla 5.23 Espectro elástico, Cons. Externa II CEC2002)	181

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

Tabla 5.25 Comparación de fuerzas sísmica	183
Tabla 5.26 Comparación de periodos de vibración	184
Tabla 6.1 Análisis estático, Hall central	195
Tabla 6.2 Análisis dinámico, Hall Central	196
Tabla 6.3 Análisis estático, Gobernantes	196
Tabla 6.4 Análisis dinámico, Gobernantes	197
Tabla 6.5 Análisis estático, Consulta Externa I	197
Tabla 6.6 Análisis dinámico, Consulta Externa I	198
Tabla 6.7 Análisis estático, Consulta Externa II	198
Tabla 6.8 Análisis dinámico, Consulta Externa II	199
Tabla 6.9 Deriva de piso, Análisis estático, Hall Central	206
Tabla 6.10 Derivas de pisos, Análisis dinámico, Hall Central	207
Tabla 6.11 Derivas de pisos, Análisis Estático, Gobernantes	208
Tabla 6.12 Derivas de pisos, Análisis dinámico, Gobernantes	208
Tabla 6.13 Derivas de pisos, Análisis estático, Consulta Externa I	208
Tabla 6.14 Derivas de pisos, Análisis dinámico, Consulta Externa I	209
Tabla 6.15 Derivas de pisos, Análisis estático, Consulta Externa II	209
Tabla 6.16 Derivas de pisos, Análisis dinámico, Consulta Externa II	209
Tabla 6.17 Distribución de cortante basal, Cálculo de índice estabilidad, Hall Central	210
Tabla 6.18 Distribución de cortante basal, Cálculo de índice estabilidad, Gobernantes	211
Tabla 6.19 Distribución de cortante basal, Cálculo de índice estabilidad, Cons. Externa I	211
Tabla 6.20 Distribución de cortante basal, Cálculo de índice estabilidad, Cons. Externa II	211
Tabla 6.21 N° de varillas por tipo de columna, Hall Central	213
Tabla 6.22 Tipo y área de acero en columnas, Gobernantes	215
Tabla 6.23 N° de varillas por tipo de columna, Gobernantes	215
Tabla 6.24 Tipo y área de acero en columnas, Consulta Externa I	217
Tabla 6.25 N° de varillas por tipo de columna, Consulta Externa I	217
Tabla 6.26 Tipo y área de acero en columnas, Consulta Externa II	220

Tabla 6.27 N° de varillas por tipo de columna, Consulta Externa II	221
Tabla 6.28 Participación modal, Análisis estático, Hall Central CEC2002	243
Tabla 6.29 Participación modal, Análisis dinámico, Hall Central CEC2002	243
Tabla 6.30 Participación modal, Análisis estático, Gobernantes CEC2002	243
Tabla 6.31 Participación modal, Análisis dinámico, Gobernantes CEC2002	244
Tabla 6.32 Participación modal, Análisis estático, Consulta Externa I CEC2002	244
Tabla 6.33 Participación modal, Análisis dinámico, Consulta Externa I CEC2002	245
Tabla 6.34 Participación modal, Análisis estático, Consulta Externa II CEC2002	245
Tabla 6.35 Participación modal, Análisis dinámico, Consulta Externa II CEC2002	246
Tabla 6.36 Derivas de piso, Análisis estático, Hall Central CEC2002	247
Tabla 6.37 Derivas de piso, Análisis dinámico, Hall Central CEC2002	248
Tabla 6.38 Derivas de piso, Análisis estático, Gobernantes CEC2002	249
Tabla 6.39 Derivas de piso, Análisis dinámico, Gobernantes CEC2002	249
Tabla 6.40 Derivas de piso, Análisis dinámico y estático, Consulta Externa I CEC2002	250
Tabla 6.41 Derivas de piso, Análisis estático, Consulta Externa II CEC2002	250
Tabla 6.42 Derivas de piso, Análisis dinámico, Consulta Externa II CEC2002	250
Tabla 6.43 Distribución de cortante basal, Cálculo de índice estabilidad Q_i, Hall Central	251
Tabla 6.44 Distribución de cortante basal, Cálculo de índice estabilidad Q_i, Gobernantes	251
Tabla 6.45 Distribución de cortante basal, Cálculo de índice estabilidad Q_i, Consulta Externa I	251
Tabla 6.46 Distribución de cortante basal, Cálculo de índice estabilidad Q_i, Consulta Externa II	252
Tabla 6.47 N° de varillas por tipo de columna, ACI318-08, Hall Central	253
Tabla 6.48 N° de varillas por tipo de columna, ACI318-08, Gobernantes	253

Tabla 6.49 N° de varillas por tipo de columna, ACI318-08, Consulta Externa I	254
Tabla 6.50 N° de varillas por tipo de columna, ACI318-08, Consulta Externa II	254
Tabla 6.51 Comparación de modos de vibración, Hall Central	259
Tabla 6.52 Comparación de modos de vibración, Gobernantes	260
Tabla 6.53 Comparación de modos de vibración, Consulta Externa I	260
Tabla 6.54 Comparación de modos de vibración, Consulta Externa II	261
Tabla 6.55 Comparación derivas de piso, Hall Central	262
Tabla 6.56 Comparación derivas de piso, Gobernantes	263
Tabla 6.57 Comparación derivas de piso, Consulta Externa I	263
Tabla 6.58 Comparación derivas de piso, Consulta Externa II	263
Tabla 6.59 Comparación de la Cortante basal por niveles e índice de estabilidad Q_i	266
Tabla 7.1 Datos tabulados de aisladores	271
Tabla 7.2 Coeficiente sísmico de desplazamiento	273
Tabla 7.3 Factor depende de la zonificación	273
Tabla 7.4 Factor de amplificación para sismo max. Posible	273
Tabla 7.5 Amortiguamiento efectivo BD o BM	273
Tabla 7.6 Resumen del diseño del Aislador HDR	290
Tabla 7.7 Resumen de los diseños de aisladores	314
Tabla 7.8 Tabla de resumen	319
Tabla 7.9 Parámetros Adicionales	323
Tabla 8.1 Primer caso Sistema aislador, Gobernantes HDR	333
Tabla 8.2 Segundo caso; Sistema aislador, Gobernantes HDR+LBR	335
Tabla 8.3 Deformación de los sistemas de aislación, Análisis espectral	338
Tabla 8.4 Deformaciones de los pisos, Gobernantes	342
Tabla 8.5 Valores máximos, Deriva de piso; Gobernantes	344
Tabla 8.6 Aceleración espectral de respuesta, HDR	346
Tabla 8.7 Aceleración Espectral de respuesta, HDR+LBR	347
Tabla 8.8 Respuesta del cortante basal por piso y sistema, Gobernantes	351
Tabla 8.9 Comparación: Deformación X, Gobernantes	356

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

Tabla 8.10 Comparación: Deformación Y, Gobernantes	357
Tabla 8.11 Comparación: Deformación X, desplazada, Gobernantes	359
Tabla 8.12 Comparación: Deformación Y, desplazada, Gobernantes	359
Tabla 8.13 Deformación absoluta, Gobernantes	360
Tabla 8.14 Comparación de valores máximos, deriva de pisos; Gobernantes	361
Tabla 8.15 Aceleración espectral de respuesta convencional, Gobernantes	363
Tabla 8.16 Aceleración espectral de respuesta HDR, Gobernantes	364
Tabla 8.17 Factor de reducción, aceleración de respuesta espectral; Gobernantes	365
Tabla 8.18 Respuesta del cortante basal por piso y sistema, Gobernantes	370
Tabla 8.19 Factor de reducción del cortante basal por piso	370
Tabla 8.20 Solicitaciones en vigas; Pórticos 1, 4, L, M	381
Tabla 8.21 Solicitaciones en columnas cuadrada y circular	381
Tabla 8.23 Diseño de estructura aislada; Pórtico 4	384
Tabla 8.22 Diseño de estructura aislada; Pórtico 1	384
Tabla 8.24 Diseño de estructura aislada; Pórtico M	385
Tabla 8.22 Diseño de estructura aislada; Pórtico M	385
Tabla 8.25 Diseño de estructura aislada; Pórtico L	386
Tabla 8.26 Diseño de estructura aislada; Columnas cuadrada y circular	388
Tabla 8.27 Comparación: Diseño estructura aislada y Diseño estructura NEC-11; Pórtico 1, 4	390
Tabla 8.28 Comparación: Diseño estructura aislada y Diseño estructura NEC-11; Pórtico M, L	392
Tabla A.1. Sobrecargas de uso (carga viva)	414
Tabla B.1. Valores de ΔM máximos, expresados como fracción de la altura de piso	416
Tabla D.1 Centro de masas y centro de rigideces	433
Tabla E.1 Comprobación para la columna de menor carga axial	434
Tabla F.1 Diseño optimo para vigas, Portico 1, 4, M, L	440
Tabla F.2 Diseño optimo para columnas cuadrada y circular	440

LISTA DE ECUACIONES:

(Ec.1.1) Riesgo Sísmico	3
(Ec 1.2) Energía Sísmica	5
(Ec. 3.1) Frecuencia Fundamental	36
(Ec3.2) Momento Último, "d" necesario	81
(Ec 3.3) Área bruta de Hormigón	82
(Ec 3.4) Sección Bruta de Hormigón f_y y f'_c; constantes en columnas	82
(Ec.3.5) Sección Bruta de Hormigón f_y y f'_c; constantes en muros	82
(Ec.3.6), (Ec.3.7) Momento Último, "d" necesario para vigas	89
(Ec.4.1) Cortante Basal. CEC-2002	109
(Ec.4.2) Cálculo de ΦP, CEC-2002	110
(Ec.4.3) Cálculo de ΦE, CEC-2002	110
(Ec.4.4) Cálculo del Período Fundamental, Método dos, CEC-2002	111
(Ec.4.5) Distribución del Cortante Basal	112
(Ec.4.5.1) Fuerza Concentrada en el último piso	112
(Ec.4.6) Fuerza Lateral en el Nivel "x"	113
(Ec.4.7) Cálculo de $A_g \cdot d$; $C > C_m$, Espectro Elástico CEC-2002	118
(Ec.4.8) Cálculo de $A_g \cdot d$; $0.5 < C < C_m$, Espectro Elástico CEC-2002	118
(Ec.4.9) Cálculo de $A_g \cdot d$; $C > 0.5$, Espectro Elástico CEC-2002	118
(Ec.4.10) Cálculo del Parámetro "C"; CEC-2002	118
(Ec.4.11) Cálculo de $A_g \cdot d$; $C > C_m$, Espectro Inelástico CEC-2002	118
(Ec.4.12) Cálculo de $A_g \cdot d$; $0.5 < C < C_m$, Espectro Inelástico CEC-2002	118
(Ec.4.13) Cálculo de $A_g \cdot d$; $C > 0.5$, Espectro Inelástico CEC-2002	118
(Ec.4.14) Cálculo del Cortante Basal NEC-11	123
(Ec.4.15) Cálculo de Período Fundamental, NEC-11	124
(Ec.4.16) Cálculo de C_t y C_w, NEC-11	124
(Ec.4.17) Cálculo de Período Fundamental, Método dos, NEC-11	125
(Ec.4.18) Cálculo de ΦP, NEC-11	128
(Ec.4.19) Cálculo de ΦE, NEC-11	129
(Ec.4.20) Cálculo de S_a, $0 < T < T_c$	131
(Ec.4.21) Cálculo de S_a, $T > T_c$	131

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

(Ec.4.22) Cálculo de T_c y T_L	132
(Ec.4.23) Cálculo de S_a, $T < T_o$	132
(Ec.4.24) Cálculo de T_o	132
(Ec.6.1) Factor de mayoración por consideración de efectos P-delta	210
(Ec.6.2) Índice de Estabilidad de Piso	210
(Ec.7.1) Desplazamiento de Diseño	272
(Ec.7.2) Desplazamiento Máximo	272
(Ec.7.3) Rigidez Horizontal del Sistema	274
(Ec.7.4) Rigidez Horizontal Individual	274
(Ec.7.5) Área de un aislador	275
(Ec.7.6) Diámetro del Aislador	275
(Ec.7.7) Altura necesaria del elastómero	275
(Ec.7.8) Módulo de cote del elastómero	275
(Ec.7.9) Factor de forma	276
(Ec.7.10) Número de capas de elastómero	276
(Ec.7.11) Esfuerzo de trabajo de las placas de acero	277
(Ec.7.12) Altura del aislador	277
(Ec.7.13) Altura del aislador incluido placas de anclaje	277
(Ec.7.14) Rigidez vertical del elastómero	278
(Ec.7.16) Módulo de compresión del aislador	278
(Ec.7.15) Frecuencia vertical del aislador	278
(Ec.7.17) Frecuencia vertical en función del período	278
(Ec.7.18) Período de diseño	279
(Ec.7.19) Deformación angular máxima del aislador	279
(Ec.7.20) Deformación por corte	280
(Ec.7.21) Deformación por compresión	280
(Ec.7.22) Deformación axial media de la capa de elastómero	280
(Ec.7.23) Condición de diseño (deformaciones)	280
(Ec.7.24) Ecuación de cálculo de P_{crit}	281
(Ec.7.25) Cálculo de rigidez de Corte Efectiva	281
(Ec.7.26) Área de corte efectiva	281

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

(Ec.7.27) Carga de alabeo para una columna sin deformación	281
(Ec.7.28) Rigidez a la inclinación	281
(Ec.7.29) Inercia de un anillo	281
(Ec.7.30) Desplazamiento máximo del aislador	282
(Ec.7.31) Factor de seguridad al Volcamiento	282
(Ec.7.34) Amortiguamiento Efectivo ponderado	291
(Ec.7.39) Relación de porcentaje para el cálculo de "Q"	293
(Ec.7.40) Área de la sección del plomo	293
(Ec.7.44) Factor de Forma de un aislador con núcleo de plomo	294
(Ec.7.46) Esfuerzo de trabajo de las placas de acero	295
(Ec.7.47) Esfuerzo admisible del acero	295
(Ec.7.48) Altura del aislador	296
(Ec.7.49) Altura del aislador más placas de anclaje	296
(Ec.7.50) Rigidez del aislador con núcleo de plomo	296
(Ec.7.51) Rigidez inicial del aislador	296
(Ec.7.52) Rigidez efectiva del aislador con núcleo de plomo	296
(Ec.7.53) Desplazamiento de fluencia	297
(Ec.7.54) Fuerza de fluencia	297
Ec.7.55) Rigidez vertical del aislador	297
(Ec.7.56) Módulo de compresión del aislador	297
(Ec.7.57) Frecuencia Vertical en función de F_h	297
(Ec.7.58) Frecuencia Vertical en función del período	298
(Ec.7.59) Deformación Máxima del Aislador	298
(Ec.7.60) Deformación máxima por corte	299
(Ec.7.61) Deformación máxima por compresión	299
(Ec.7.62) Deformación Axial Media	299
Ec.7.63) Deformación Máxima Propuesta	299
(Ec.7.64) Carga Crítica de Pandeo	300
(Ec.7.65) Rigidez de corte Efectiva	300
(Ec.7.66) Área de corte Efectiva	300
(Ec.7.67) Carga de Alabeo	300

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

(Ec.7.68) Rigidez de inclinación	300
(Ec.7.69) Inercia de una sección circular y anular	301
(Ec.7.70) Desplazamiento Máximo	301
(Ec.7.71) Factor de Seguridad al Volcamiento	302

RESUMEN

COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS “HALL PRINCIPAL, GOBERNANTES Y CONSULTA EXTERNA DEL HOSPITAL REGIONAL DE AMBATO” TOMANDO EN CONSIDERACIÓN EL CEC 2002, LA NEC-11 (MÉTODO TRADICIONAL) VERSUS. MÉTODO DE AISLACIÓN SÍSMICA DE BASE (NCH-2745). MODELACIÓN ETABS.

El trabajo desarrollado es un estudio comparativo, por una parte analiza la metodología de la evaluación de fuerzas sísmicas en estructuras de edificación haciendo relación al Código Ecuatoriano de la Construcción versus la nueva reglamentación de construcción en el Ecuador, Norma Ecuatoriana de la Construcción; para establecer diferencias en los resultados del cortante basal y sus efectos en el diseño de los elementos estructurales. La segunda parte del estudio se centra en la implementación de un sistema de aislación basal a la estructura, para incrementar su período fundamental de vibración, con esto la reducción de sus desplazamientos relativos y consecuentemente los menores efectos sísmicos en la edificación, concentrando las deformaciones en el sistema de aislación; este efecto causa menores solicitaciones en los elementos estructurales, reducción de las secciones y cuantías de diseño en la estructura, generando así una alternativa de diseño sísmico de edificaciones, en especial para estructuras esenciales como es el “Hospital Regional de Ambato”.

DESCRIPTORES: "ESPECTROS SÍSMICOS/ ANÁLISIS DINAMICO/ CEC-2002/ NEC-11/ AISLACIÓN BASAL DE EDIFICACIONES/ SISTEMAS DE AISLACIÓN HDR, LBR/ INGENIERÍA SÍSMICA"

ABSTRACT

STRUCTURAL BEHAVIOR COMPARISON OF BUILDINGS "CENTRAL HALL, RULERS AND OUTPATIENT OF REGIONAL HOSPITAL AMBATO" TAKING INTO CONSIDERATION THE CEC 2002, THE NEC-11 (TRADITIONAL METHOD) VERSUS. SEISMIC ISOLATION METHOD BASE (NCH-2745). MODELING ETABS.

The work is a comparative study, firstly discusses the methodology of the evaluation of seismic forces in building structures by relating the Ecuadorian Construction Code versus the new building regulations in Ecuador, Ecuadorian Standard Construction, to establish differences in basal shear results and their effects on the design of the structural elements. The second part of the study focuses on the implementation of a basement insulation system to the structure, to increase the fundamental period of vibration, with this reducing their relative displacements and consequently lower seismic effects in buildings, concentrating deformation insulation system, this effect causes minor solicitations on structural elements, reduced amounts of sections and reinforcements in the structure generating, thus an alternative seismic design of buildings, especially for critical structures such as the "Ambato Regional Hospital".

DESCRIPTORS: "SPECTRUM SEISMIC / DYNAMIC ANALYSIS / CEC-2002 / NEC-11 / BASEMENT OF BUILDING INSULATION / INSULATION SYSTEMS HDR, LBR / EARTHQUAKE ENGINEERING"

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES GENERALES

Los sismos, eventos naturales que nos han acompañado en la historia y son un peligro latente para la sociedad en general; como es de conocimiento no pueden ser controlados así como tampoco son previsibles a pesar del avance tecnológico. Al Ecuador en particular estos eventos telúricos le han afectado de forma frecuente y con variedad de intensidades, esto debido a su ubicación que está en una de las zonas más activas sísmicamente a nivel mundial, sobre la intersección de las placas tectónicas de Nazca y la placa Sudamericana; la posibilidad de subducción latente de la placa de Nazca hace que nuestro Ecuador se encuentre en el denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, conocido también como Cinturón Circumpacífico; por esta singularidad en el país se han suscitado varios eventos telúricos de importancia, los mismos que acarrearón destrucción, daños a toda escala y lo más delicado, pérdidas humanas, considerando que en el país se produjo el cuarto sismo más fuerte registrado; un terremoto catastrófico de magnitud 8.8 en las costas del Ecuador y Colombia, en 1906 el mismo que generó un tsunami devastador que dejó un saldo de víctimas entre 500 a 1500 personas. El terremoto en Ambato de 6.8 grados en la escala de Richter en 1949, la ciudad y sus alrededores quedaron reducidos a escombros y afectó gravemente a cincuenta poblaciones que en aquella época conformaban la provincia de Tungurahua, seis mil muertos y millones de pérdidas fueron el trágico saldo.

Como se puede constatar Ecuador tiene como característica normal ser un país de alto riesgo sísmico, pero hay que tener en cuenta que los efectos

adversos que los movimientos telúricos provocan en lo que tiene que ver con las estructuras construidas por el ser humano, no son propias del mecanismo del sismo, sino más bien en gran parte son fallas en el proceso de diseño y construcción de las mismas, por lo que está claro que aunque los sismos son eventos naturales inevitables, sus efectos destructivos sobre las estructuras de ingeniería pueden ser mitigados de tal manera que estos continúen funcionales después del movimiento telúrico producido. Por todo lo anteriormente expuesto, el país presenta múltiples desafíos ante el problema sísmico y toma una importancia significativa la investigación de estructuras resistentes a sismos, tanto desde el punto de vista estructural como funcional, ya que de esta manera puede prestar servicio directo a toda la población nacional. El Ecuador debido a su realidad geológica, es un país en el que se necesita el estudio del comportamiento de los procesos sísmicos y comprobar el adecuado funcionamiento de los diferentes dispositivos que se puedan generar para el control de las vibraciones producidas por los sismos sobre las estructuras, tal como lo son los aisladores sísmicos basales; estos sistemas de aislamiento pasivo que se han venido desarrollando satisfactoriamente en las últimas décadas y que han logrado ser comprobados tanto en eventos reales como experimentales. Básicamente, el aislamiento sísmico es una técnica que consiste en desacoplar una estructura del suelo, colocando este mecanismo entre la cimentación de la estructura y el suelo. Este dispositivo es muy flexible en la dirección horizontal; pero, sumamente rígido en la dirección vertical.

Lastimosamente en el Ecuador al año 2012, no existe un edificio con aisladores de base. En el año 2010, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército terminó de construir el puente que une las ciudades de Bahía de Caráquez con San Vicente, el mismo que posee aisladores sísmicos en cada pila del puente donde reposan las vigas que soportan el tablero del puente.

En el presente trabajo de tesis, se estudia y se desarrolla a través de comparaciones de tipo estructural, la implementación de un sistema de aislación basal para los edificios de tipo esencial: Hall Central, Gobernantes

y Consulta Externa, mismos que son parte del Hospital Regional de Ambato. La tipología estructural es de elementos de hormigón armado y en uno de los edificios cubierta de acero tipo celosía. Se diseñarán dos opciones de aislación basal para los edificios, los cuales serán comparados a través de un análisis dinámico no lineal según la NEC-11 observando cual es el sistema que presenta las mejores ventajas según criterios de interés, paralelo a éste, se realizará un análisis de la estructura sin aisladores, es decir método tradicional. De esta manera se pretende tener información que a través de comparaciones de modelos computacionales permita decidir si es viable y factible implementar a través de una decisión puramente técnica el sistema de aislación sísmica de base.

1.1.1. INGENIERÍA SISMICA

La Ingeniería Sísmica, surge como una rama interdisciplinaria de la ingeniería, un nexo entre las ciencias de la tierra y la ingeniería civil orientada principalmente a la mitigación de la amenaza sísmica en infraestructura civil.

A fin de aprender cómo controlar el riesgo sísmico es necesario definir el Riesgo Sísmico. Riesgo Sísmico es la probabilidad que las consecuencias sociales o económicas de eventos sísmicos igualen o excedan valores especificados en un sitio durante un tiempo de exposición especificada. El riesgo sísmico es el resultado de la peligrosidad sísmica, tal como se describe mediante la siguiente relación:

$$\text{Riesgo Sísmico} = \text{Peligrosidad Sísmica} \times \text{Vulnerabilidad} \quad (\text{Ec.1.1})$$

Donde, Peligrosidad Sísmica representa la probabilidad de ocurrencia, dentro de un periodo especificado de tiempo y dentro de un área dada, de

un movimiento sísmico de una intensidad determinada y Vulnerabilidad sísmica representa el grado de daño, debido a la ocurrencia de un movimiento sísmico de una intensidad determinada.

De lo anterior se puede concluir, que la solución al problema de la mitigación sísmica se enfoca en controlar la vulnerabilidad del medio ambiente construido, cuanto esto permite controlar las fuentes potenciales de peligrosidad sísmica, las cuales son una consecuencia de la interacción de la actividad sísmica (no se puede controlar) y de la vulnerabilidad del medio ambiente construido (controlable). Aunque la Ingeniería Sísmica es una rama relativamente nueva de la ingeniería, los avances realizados en esta área han cumplido ya un efecto importante, al reducir el riesgo sísmico a través del mejoramiento del medio ambiente construido, haciendo posible el diseño y construcción de estructuras sismo resistentes tales como puentes, represas, líneas de abastecimiento, edificios de alto riesgo, etc. Los problemas encontrados en la Ingeniería Sísmica son complejos y sus soluciones son por lo general también complejas, que requieren una contribución interdisciplinaria de grupos de investigación, profesionales prácticos, usuarios de oficinas gubernamentales, etc.

Los terremotos están entre las más traumáticas experiencias producidas por los fenómenos naturales. En un corto período de tiempo la base firme del planeta Tierra, en quien todos confiamos, empieza a temblar en forma aterradora causando devastación física asociada a perdurables efectos psicológicos.

El número de víctimas producidas por los terremotos es impresionante. De acuerdo a estadísticas, en el siglo XX que terminó, por su causa perecieron más de 50 millones de personas.

En Ecuador luego del terremoto de Pujilí 1996, se conformó el Comité Ejecutivo del Código Ecuatoriano de la Construcción, para colaborar en todas las tareas conducentes a la actualización del Código de la

Construcción (CEC) de 1977. Este esfuerzo condujo a la publicación del capítulo de Peligro Sísmico y Diseño Sismo-resistente del CEC-2000.

Doce años después, el Comité Ejecutivo del Código Ecuatoriano de la Construcción, en sesión celebrada el 14 de Octubre del 2008, dispuso que el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, celebre un convenio de cooperación interinstitucional con la Cámara de la Construcción de Quito, para impulsar de manera efectiva y rápida la actualización y elaboración final del CEC. El mencionado convenio fue suscrito 11 de Diciembre de 2008.

El 24 de Marzo 2011, mediante Decreto Ejecutivo 705 se crea e Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, con el propósito de expedir la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

En los últimos tiempos han surgido nuevas ideas respecto a la protección ante el peligro sísmico. En base a consideraciones derivadas del avance tecnológico, se ha propuesto resolver el problema de hacer las construcciones más seguras, de otra manera, y conseguir que el sismo afecte menos a las estructuras. La idea es de acoplar a la estructura un sistema mecánico y lograr que este último disipe la mayor parte de la energía sísmica que le llega al conjunto. Se podría plantear la siguiente ecuación global:

$$E_{sismica} = E_{estructura} + E_{sistema\ mecánico} , \text{ donde:}$$

E: energía

(Ec 1.2)

De esta manera la energía sísmica que le corresponde a la estructura se reduce notablemente. Se han ideado diversos dispositivos que representan a lo que se ha denominado sistema mecánico y que en la literatura técnica se denominan como sistemas de protección pasiva. Estos sistemas han tomado varias formas: disipadores pasivos, fluencia de metales, fricción, deformación de metales sólidos visco elásticos, deformación de fluidos visco elásticos, extrusión de metales, etc.

El sistema pasivo que ha tomado mayor desarrollo es el de aislación en la base, ésta trata de apoyar a la estructura no directamente sobre el terreno sino sobre aisladores que desacoplen el movimiento del suelo con respecto al de la estructura, reduciendo así la respuesta sísmica. La aislación basal tiene dos principios fundamentales que son la flexibilización y el aumento de amortiguamiento, logrando reducir las aceleraciones y concentrando el desplazamiento en el sistema de aislación mecánico.

La aislación basal hoy en día se considera como un diseño estratégico que está dirigido a reducir la cantidad de energía de entrada a la cimentación de una estructura.

Dicha estrategia logra su efectividad mediante los siguientes mecanismos:

A través de la reducción de la respuesta sísmica como una consecuencia al corrimiento del periodo fundamental de la estructura.

A través de una limitación de las fuerzas transmitidas a la cimentación. Una alta capacidad de amortiguamiento de los aisladores permite controlar y reducir los desplazamientos relativos.

Existen varios tipos de aisladores de base pero únicamente se van a presentar dos; aisladores elastoméricos y aisladores tipo péndulo de fricción, que se estudiarán en el capítulo siguiente.

1.1.2. IMPACTO ECONÓMICO DE LOS DAÑOS EN EDIFICIOS PRODUCIDOS POR SISMOS

Un ámbito muy importante de estudio es también el impacto económico que estos efectos sísmicos producen en las estructuras. En la cuantificación de este impacto económico influyen varias características del evento como: magnitud del evento, duración del mismo, número de réplicas, características propias del sismo y las relacionadas directamente a la

construcción como: materiales utilizados, geometría estructural, presencia de un diseño sismo-resistente y finalmente características del medio ambiente como: cantidad de edificaciones colindantes, además de la economía propia del país.

Es evidente que los costos económicos son consecuencias de diferentes tipos de daños que produce el sismo y para poder facilitar la comprensión de la calificación cuantitativa y cualitativa de daños, se indica el significado que se da a los términos de efectos directos, indirectos y secundarios.

Daños directos se refieren a la pérdida de todo tipo (parciales o totales, recuperables o no) en los acervos de capital fijo, inversiones e inventarios de producción terminada o en proceso, de materias primas, maquinaria y repuestos.

En nuestro caso de estudio se refiere a la destrucción física ya sea completa o parcial, que ocurre durante el desastre o inmediatamente después. Es evidente que el costo de reposición de ese mismo acervo, incluso sin mejoras, será mayor y el valor de reconstrucción puede tener grandes variaciones respecto a la magnitud inicial del daño directo.

Daños indirectos Se refiere a los daños de los bienes y servicios que no serán producidos o prestados como consecuencia del desastre, a partir del mismo y durante un periodo posterior que puede prolongarse por semanas, meses o años, dependiendo de las características del evento.

Los daños indirectos se miden en términos monetarios, no físicos por ejemplo:

Los gastos de operación mayores, como consecuencia de la destrucción física de la infraestructura, y por el incremento de los costos de servicio.

Pérdidas de ingreso como resultado de la falta de suministro de servicios básicos.

Pérdidas de ingreso personal, en el caso de individuos que perdieron su empleo.

Pérdidas de producción.-

El lucro cesante originada por los periodos de clausura de los edificios dañados y de su posterior reparación, y el deterioro del valor comercial de los edificios dañados.

Efectos secundarios se refieren al impacto del desastre en el comportamiento global de la economía afectada, medido a través de las variables macroeconómicas de mayor importancia. La estimación de cambios en estas variables, hecha a partir del valor de los daños totales, tanto directos como indirectos.

Entre los principales efectos secundarios de un desastre se aprecian en:

Variación del producto interno bruto (PIB). El balance comercial y su efecto en la balanza de pagos.

El nivel de endeudamiento y su relación con las reservas monetarias.

Se presenta a continuación algunos datos referentes a las pérdidas económicas que se han presentado en Ecuador y en otros países que se han visto afectados por sismos de intensidad importante.

Ecuador tiene una larga historia de actividad sísmica que en los últimos 460 años, ha provocado la destrucción de ciudades enteras como Riobamba e Ibarra, con la muerte de más de 60000 personas.

Otro terremoto con características destructivas severas sucedió en el año de 1949 en la ciudad de Ambato, teniendo una magnitud de 6.8 en la escala de Richter las víctimas por esta catástrofe llegaron alrededor de 5000 personas, los daños en edificios fue mayor al 50%, en las comunidades adyacentes a la zona del epicentro, la devastación fue total solo quedaron escombros.

La situación del Ecuador no es distinta a la de otros países en vías de desarrollo; que al igual que el nuestro, experimentan un crecimiento rápido de su población y una densidad poblacional intensa, lo que produce un crecimiento acelerado de las pérdidas causadas por los terremotos. Es por esto que el estudio del riesgo sísmico y su impacto en el desarrollo, constituye un desafío científico crítico para el siglo actual.

Aquí citamos algunos terremotos a nivel mundial como es el caso del país centroamericano Haití el mismo que sucedió en el 2010, con una magnitud de 7.3 en la escala de Richter con la destrucción del 90% de las edificaciones; esto es debido a que en el país no existe ningún tipo de control técnico de fiscalización en la construcción; además de no existir códigos normativos, y no se cumplieron de la misma forma las recomendaciones internacionales de especificaciones técnicas de materiales y demás, como consecuencia murieron más de 150 mil personas, las pérdidas económicas están estimadas en \$7200 millones de dólares.

En este año, el país sudamericano Chile sufrió un terremoto de magnitud de 8.8 en la escala de Richter, con la destrucción de 500 mil viviendas ubicadas en su mayoría en el sur del país, las víctimas mortales son alrededor de 507 habitantes (OCAH), las pérdidas económicas en este país están alrededor de \$15000 millones de dólares; considerando que Chile es un país con estudios avanzados en Ingeniería sísmica.

En el 2011, en el país Asiático Japón un terremoto de magnitud de 8.9 en la escala de Richter, el más alto registrado en Japón, los daños económicos están alrededor de los \$36000 millones de dólares; de igual forma Japón es un país que desarrolla técnicas antisísmicas muy avanzadas y es pionero en estos estudios.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

1.- Analizar el comportamiento estructural de un edificio convencional en comparación con el edificio aislado.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.- Comparar la variación de diseño que provocan las solicitaciones tomando en cuenta el CEC-2002 y la NEC-11.

2.- Entregar datos de modelos del comportamiento que tienen los aisladores de tipo elastomérico.

3.- Diseñar la estructura utilizando el código del ACI 318-08 con las respectivas disposiciones que presenta, y de esta forma dar cumplimiento a las normas internacionales.

4.- Comparar el diseño de los elementos estructurales del modelo sin aislación con el modelo de aislación de base.

5.- Contribuir a la investigación de los aisladores sísmicos de base en su etapa de implementación en la construcción.

1.3. METODOLOGÍA

Para dar cumplimiento a cabalidad de los objetivos que se han planteado, se debe utilizar una metodología clara y sencilla que permita de manera deductiva desarrollar los fundamentos que nos brinden las conclusiones más adecuadas. Estamos frente a una edificación de categoría esencial en importancia de acuerdo con el CEC-2002 y la Nec-11; esta edificación es un hospital y en esta tesis se trabajará con los tres bloques siguientes: Hall Principal, Gobernantes y Consulta Externa, de los cuales nos preocuparemos principalmente de la respuesta estructural y las diferencias en el diseño que pueden presentar estas edificaciones con los códigos mencionados y con la implementación de un sistema de aislación basal; es decir, si realmente es conveniente utilizar en este tipo de estructuras esenciales el mencionado sistema; todo esto con el respaldo de modelos estructurales computacionales que muestren las ventajas y limitaciones técnicas del nuevo sistema. Para lograr evaluar el proyecto se enfoca su desarrollo en cuatro grandes partes.

La primera tratará sobre el análisis y diseño de los edificios con el código vigente CEC-2002, es decir el análisis convencional y el diseño se lo realizará con los procedimientos del ACI318-08, de esta manera se tiene una visión del comportamiento tradicional de los edificios, sin sistema de aislación sísmica.

La segunda etapa se enfoca en al análisis y diseño de los edificios con la Norma Ecuatoriana De la Construcción, es decir aplicando la nueva forma que se propone para el cálculo de las solicitaciones sísmicas y su resultado en el diseño, el mismo que se lo realizará con el ACI318-08 para de esta forma tener la misma referencia y la comparación de resultados con el CEC-2002.

El cálculo y diseño de estas dos etapas se lo realizará apoyado en el paquete computacional ETABS en su versión 9.7.

La tercera parte del desarrollo se centra en el análisis y diseño de las alternativas de los aisladores de base para escoger el más adecuado para las estructuras en mención. Dentro de los aisladores se escogió los más utilizados a nivel mundial, ya que de éstos existe gran cantidad de información de comportamiento y son los que presentan las mayores ventajas estructurales.

Los sistemas escogidos son: Aislador Elastomérico convencional (HDR) y Aislador Elastomérico con núcleo de plomo (LRB). Esta parte consta de todo el respaldo teórico que se puede encontrar en la bibliografía existente y en las experiencias realizadas sobre estos sistemas, contando con las curvas representativas, curvas histeréticas y otras de los sistemas escogidos. Además de una modelación en ETABS para poder acoplarla al modelo del edificio tradicional y tener la visión computacional del comportamiento del edificio aislado.

La cuarta parte finalmente consiste por un lado en el análisis del edificio aislado con la norma NEC-11-CAP-2, realizando un estudio detallado de ella aplicada a los edificios, realizando cálculos dinámicos, análisis modal espectral y los diferentes tipos de procedimientos que contemple o sugiera la normativa para casos como los edificios en estudio; para que con estos antecedentes se proceda al diseño de la estructura aislada, en este diseño de igual forma se tomará en cuenta el ACI318-08. Por otro lado se tendrá la comparación de los diseños estructurales, es decir las secciones y cuantías que arrojen los diferentes diseños, además se compararán derivas, deformaciones admisibles y demás parámetros que permitan tener pautas fijas y sus diferencias en la respuesta estructural de los edificios.

El objetivo es que el presente trabajo de tesis sea una herramienta útil en el conocimiento y estudio de la aislación basal, una ayuda al entendimiento y masificación de esta nueva tecnología de diseño sismo-resistente. La profundidad de los temas irá acorde al nivel de la implementación

bibliográfica y técnica, con la cual cuentan las instituciones encargadas de la investigación de dichos temas, siendo un estudio que busca incentivar y fomentar el uso de este nuevo sistema en el área de la protección sísmica.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS Y SISTEMAS DE AISLACIÓN BASAL

2.1. ANTECEDENTES GENERALES

Si observamos el problema de un sismo desde el punto de vista más simple consiste en que el sismo genera principalmente movimientos horizontales del suelo, a través de ondas que se propagan por él, estos movimientos horizontales son las principales causas que producen daños en los edificios, ya que estos están conectados al suelo a través de la cimentación, a más de estos movimientos horizontales se tienen también en menor proporción los movimientos verticales en la estructura, es por eso que en el análisis estático se considera el 25% de la carga viva como el peso sísmico en el sentido vertical de la estructura.

Las ondas producidas por el sismo poseen sus propias frecuencias y períodos que excitan a la estructura, provocando que se manifiesten las frecuencias y períodos propios de la estructura, si la frecuencia de esta fuente de vibración coincide con una de las frecuencias naturales de vibración de la estructura, ésta entra en resonancia y su amplitud de vibración puede alcanzar magnitudes lo suficientemente grandes para dañar o incluso destruir la estructura.

En el diseño de edificios tradicionales se recurre a la ductilidad estructural propia, lo cual puede ser riesgoso ya que se asignan a la estructura ductilidades muy difíciles de probar y controlar, además de estar admitiendo roturas parciales de la misma estructura que se debe proteger.

Un objetivo fundamental de un óptimo diseño sísmico es minimizar el desplazamiento entre pisos y las aceleraciones de los pisos presentes en la

estructura. Los efectos de los desplazamientos causan daños a los componentes no estructurales, a equipos y a conexiones de los diferentes servicios. Se podría minimizar los desplazamientos entre pisos rigidizando la estructura, pero esto además de ser una solución costosa, conduce a la amplificación de los movimiento de la base, lo cual se traduce en altas aceleraciones en los pisos generando posibles daños al equipamiento interno, a la vez para disminuir estas aceleraciones se podría hacer utilizando un sistema más flexible pero esto nos lleva al problema inicial de tener considerables desplazamientos entre pisos.

Por lo cual, si es posible independizar la estructura del suelo, se reducirían notablemente los daños, ya que la estructura “no sentiría” el movimiento del suelo. La estrategia de diseño sismo resistente que permite generar la independencia *estructura – suelo* se denomina aislamiento basal, ésta es una técnica singular que se ha desarrollado y perfeccionado en el tiempo, convirtiéndose en un sistema confiable y práctico que entrega una gran protección sísmica a la estructura con sus componentes, y que ha tenido excelentes resultados en los proyectos en donde se ha implementado.

Por definición el aislamiento de base es independizar al edificio o estructura de las componentes horizontales y verticales del movimiento del suelo, interponiendo elementos estructurales con rigidez horizontal relativamente baja entre la estructura y la cimentación. Esto permite mitigar la respuesta sísmica de la estructura, logrando una frecuencia fundamental que es mucho más baja que su frecuencia como base fija y las frecuencias predominantes del movimiento del suelo. Visto de otra manera, quiere decir que al introducir esta alta flexibilidad horizontal se aumenta el período de la estructura alejándola de la zona de mayor energía sísmica. Siendo ésta una de las mejores soluciones prácticas para minimizar simultáneamente los desplazamientos entre pisos y las aceleraciones de los pisos de la estructura, concentrando los desplazamientos en el nivel de aislamiento. Se presenta un esquema general en la siguiente Fig.2.1:

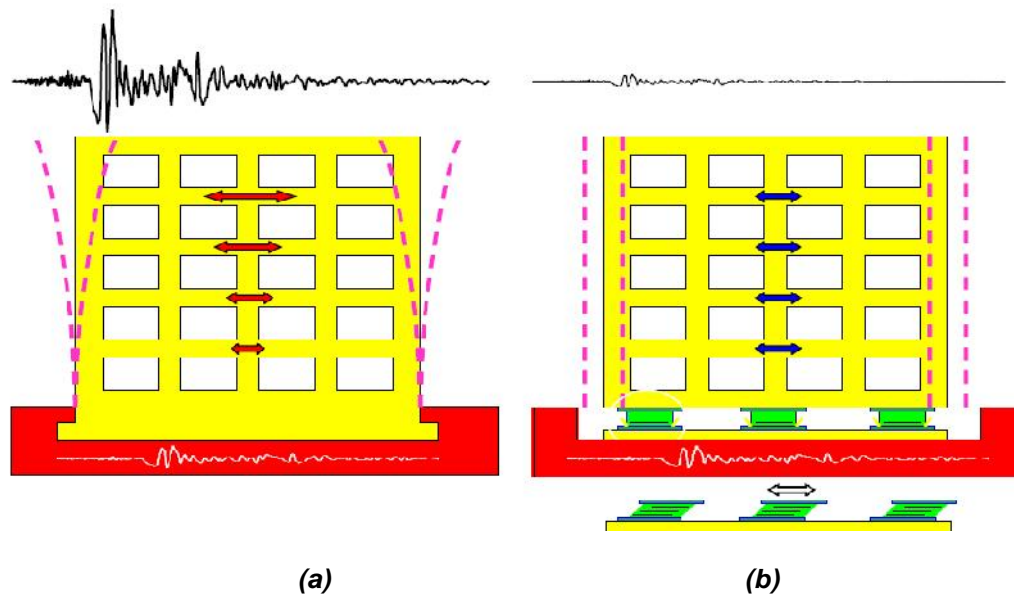


Fig.2.1. Esquema de dos tipos de edificios (a) Estructura sin aislamiento basal; (b) estructura con aislamiento basal.

Con estos aisladores de base se incorpora a la estructura un mayor amortiguamiento, de tal manera que las fuerzas sísmicas van a ser menores ya que las ordenadas de los espectros disminuyen conforme se incrementa el amortiguamiento.

Por otra parte la estructura sin aisladores tiene un determinado período, ahora en cambio, el proyectista estructural selecciona el período que quiere que tenga la estructura para que las ordenadas espectrales sean bajas y esto se lo consigue con la incorporación de aisladores de base.

En la Fig.2.1 se ve estos dos efectos, el incremento de amortiguamiento como influye en menores aceleraciones espectrales y el incremento del periodo por efecto de los aisladores, hace que las ordenadas espectrales sean menores.

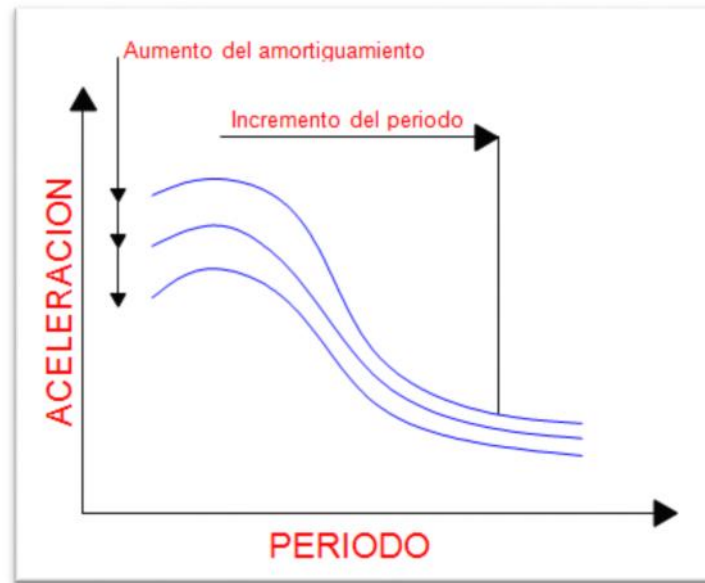


Fig. 2.2 Período Vs Aceleración

No en todas las estructuras se pueden y deben colocar aisladores de base. En efecto, si la estructura sin aisladores es muy flexible, no es adecuado colocar aisladores. Lo propio, no en todos los lugares se pueden construir estructuras con aisladores de base, ya que depende de la forma del espectro de diseño y del tipo de suelo, por ejemplo en suelos blandos no es aconsejable utilizar este sistema.

Si se tienen espectros de diseño como el mostrado en la Fig.2.2 para el cual en la zona de aceleraciones espectrales bajas se tienen períodos altos, ahí sí es adecuado colocar aisladores de base pero si la forma del espectro no es así, no conviene colocarlos.

En estructuras en las cuales no es conveniente colocar aisladores de base, se puede pensar en la implementación de disipadores de energía, existe una variedad de disipadores disponibles en el mercado.

En resumen, el sistema de aislación debe satisfacer tres requisitos fundamentales:

Flexibilidad horizontal, de modo de alargar el período fundamental de vibración de la estructura a una zona de menor aceleración espectral.

Amortiguamiento y disipación de energía, de modo de reducir la demanda de deformación sobre el sistema de aislación.

Resistencia para cargas de servicio, de manera de evitar vibraciones molestas.

El diseño de una estructura con este sistema de aislación debe cumplir con los siguientes objetivos de desempeño:

Resistir sismos pequeños y moderados sin daño en elementos estructurales, componentes no estructurales, y contenidos del edificio.

Resistir sismos severos sin que exista:

- (a) falla del sistema de aislación,
- (b) daño significativo a los elementos estructurales,
- (c) daño masivo a elementos no estructurales,
- (d) interrupción de la operatividad de la estructura.

2.2. TIPOS DE AISLACIÓN BASAL

Existen diversos tipos de sistemas de aislación basal, cada uno con características propias en cuanto a sus mecanismos de acción, materiales que lo componen, costos de implementación, estudios teóricos acerca de ellos y tipos de estructuras en donde es más conveniente usar. Todos ellos buscan el mismo fin, desacoplar la estructura del movimiento del suelo; en

este trabajo de tesis estudiaremos tres sistemas de aislación, los que se mencionan a continuación:

a) Aislador Elastomérico Convencional.

Aislador Elastomérico de Bajo Amortiguamiento (LDR). Aislador Elastomérico de Alto Amortiguamiento (HDR).

b) Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo.

c) Aislador de Péndulo Friccional (F.P.S).

2.2.1. AISLADOR ELASTOMÉRICO CONVENCIONAL

Este tipo de aislador está formado por un conjunto de láminas planas de goma intercaladas por láminas de acero adheridas a la goma y cubierto en sus extremos superior e inferior por dos placas de anclajes las mismas que van conectadas con la superestructura en su parte superior y la cimentación en su parte inferior por medio de pernos de anclaje. Entre las láminas de acero, la lámina de goma puede deformarse en un plano horizontal y de esta manera permitir el desplazamiento horizontal de la estructura relativo al suelo.

Estos aisladores son apoyos elastoméricos (polímero elástico), también conocidos como cauchos termoplásticos, estos apoyos poseen una alta rigidez vertical privando la expansión lateral de la goma que resulta de la presión vertical de la estructura. En la mayoría de los diseños de aisladores elastoméricos se utiliza la geometría de un cilindro, ya que con esto las propiedades del aislador no se ven afectadas por la dirección de la carga horizontal aplicada, repartiéndose los esfuerzos uniformemente.

A continuación se presenta un esquema general de un Aislador Elastomérico Convencional.

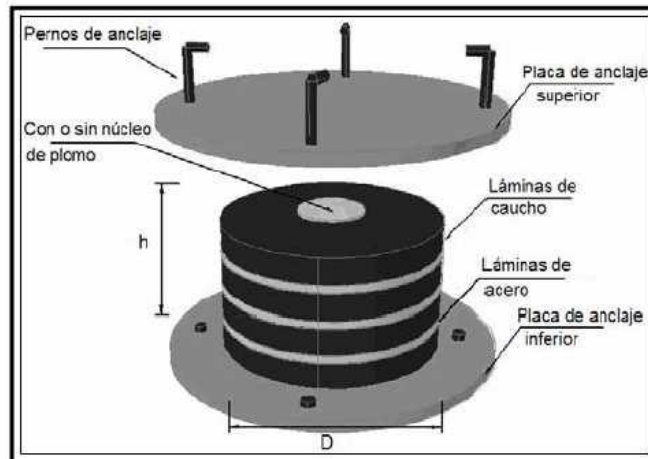


Fig. 2.3. Detalle de un aislador Elastomérico

Durante su construcción, las láminas de goma se intercalan con las láminas de acero, dentro de un molde de acero que tiene la forma final del aislador y luego se le aplica presión a una temperatura muy alta, alrededor de 140 °C, por un tiempo que varía entre 4 y 8 horas, para que la goma se vulcanice y adquiera el conjunto su propiedad elástica, que le permita ser muy flexible horizontalmente debido a la goma y muy rígido verticalmente por la presencia de las láminas de acero, que impiden la deformación lateral de la goma.



Fig.2.4. Ubicación en obra del Aislador Elastomérico

Estos aisladores están garantizados para una vida útil de 50 años como mínimo. El diseño se hace proveyendo a los aisladores de una fijación que les permite ser removidos y cambiados en cualquier momento sin interrumpir el funcionamiento del edificio.

Dentro de los apoyos elastoméricos laminados podemos distinguir entre dos tipos principalmente: aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDR) y los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR).

2.2.1.1. AISLADOR ELASTOMÉRICO DE BAJO AMORTIGUAMIENTO (LDR)

Consisten en aisladores en los que se utiliza goma natural con un punto bajo de amortiguación, poseen las mismas características mencionadas en el punto anterior, con la salvedad que se utiliza una goma de baja capacidad de amortiguación, las láminas de acero impiden las expansiones laterales de la goma y proveen de alta rigidez vertical, pero no tienen efecto sobre la rigidez horizontal, que es controlada por el bajo modulo al esfuerzo de corte que posee el elastómero.



Fig. 2.5. Esquema de un aislador elastomérico de bajo amortiguamiento (LDR).

2.2.1.2. AISLADOR ELASTOMÉRICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)

El aislador elastomérico de alto amortiguamiento tiene la misma disposición mencionada en los puntos anteriores de ir intercalando láminas de goma con delgadas capas de acero, pero en este caso se utiliza una goma que además de entregar la flexibilidad y rigidez requerida, se diferencia de los elastómeros comunes porque posee como propiedad natural un alto amortiguamiento, logrado a través de agregar sustancias químicas al elastómero.

Estos dispositivos han sido usados e instalados en una variedad de edificios en Chile, Japón, Estados Unidos, e Italia. Un ejemplo de aisladores de alto amortiguamiento está en la reconstrucción y mejoramiento con partes nuevas del Hearst Memorial Mining Building mostrado en la siguiente fig.:



Fig. 2.6. Ejemplo de aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento.

2.2.2. AISLADOR ELASTOMÉRICO CON NÚCLEO DE PLOMO (LRB)

En la categoría más importante de los dispositivos elastoméricos está el aislador con núcleo de plomo (LRB) (Robinson, 1982) que se muestra en la Figura 2.7(a). Este es un dispositivo laminado de elastómero que se compone de placas de acero y caucho construidas en capas alternadas. En su interior posee un núcleo de plomo que le adjudica de una cantidad adicional de disipación de energía. Posee la capacidad de soportar la combinación de cargas verticales, proveer de flexibilidad horizontal, restauración de fuerzas y amortiguamiento. La capacidad de energía absorbida por el núcleo reduce el desplazamiento lateral del aislador.

Se presenta un esquema del Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo en la Fig.2.7:

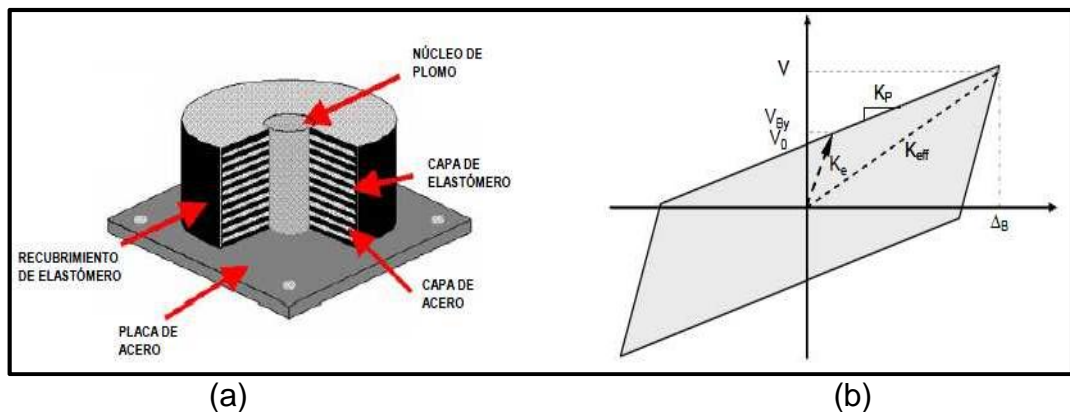


Fig. 2.7. (a) Aislador Elastomérico con núcleo de plomo y (b) Comportamiento histerético de LRB

La curva bilineal resulta de la acción en paralelo del elastómero, para el cual se asume una respuesta elástica, y del núcleo de plomo que se modela como elasto-plástico.

El elastómero controla la rigidez post-fluencia del dispositivo, mientras que el núcleo de plomo solo contribuye un 10% a la rigidez post-fluencia del dispositivo.

El núcleo de plomo, por su parte controla la rigidez inicial, la fuerza de fluencia, y el desplazamiento de fluencia del dispositivo. La fuerza lateral necesaria para causar la fluencia del núcleo de plomo es proporcional al área de su sección y al esfuerzo de fluencia por corte del plomo.

El diseño de éste tipo de aisladores debe generar la siguiente información necesaria para que el fabricante pueda construir el dispositivo:

- a.- Diámetro exterior
- b.- Diámetro del núcleo de plomo
- c.- Altura y
- d.- Número y espesor de las placas de confinamiento

Una vez que estos parámetros son definidos, es conveniente que el diseñador busque en catálogos de los fabricantes, dispositivos con las mismas o superiores características. El utilizar dispositivos que aparecen en los catálogos siempre será más económico que utilizar dispositivos especialmente fabricados para un particular proyecto.

2.2.3. AISLADOR PÉNDULO FRICCIONAL (FPS)

El uso de los dispositivos deslizantes es una de las técnicas más efectivas y populares para el aislamiento sísmico. Funciona muy bien bajo cargas sísmicas severas y es muy efectivo reduciendo los grandes niveles de aceleración de la superestructura. Además, tienden a reducir la energía del sismo sobre un amplio rango de frecuencias.

El concepto de dispositivos deslizantes es combinado con el concepto de péndulo de fricción, obteniendo un sistema de aislamiento sísmico interesante conocido como sistema de péndulo deslizante de fricción (Zayas, et al, 1990) como muestra la Figura 2.8. En el FPS, el aislamiento se logra mediante un deslizador articulado en la superficie cóncava y esférica.

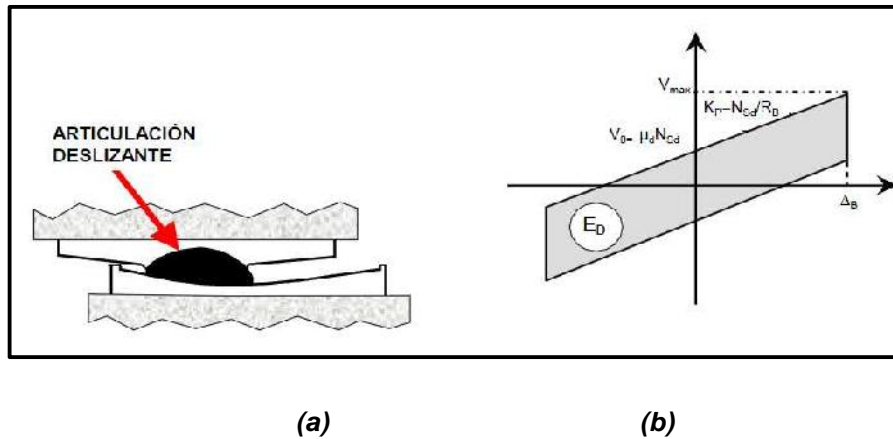


Fig. 2.8. (a) Péndulo deslizante de fricción, (b) comportamiento friccionante

A continuación se muestra un detalle del aislador tipo FPS.



Fig.2.9. Detalle del aislador tipo FPS.

El coeficiente de fricción depende de la carga y de la concavidad del dispositivo. (Mokha, et al, 1990). El sistema actúa como un fusible que es activado sólo cuando las fuerzas del sismo superan el valor estático de fricción. El aislamiento sísmico es logrado mediante la variación del periodo natural de la estructura, el mismo que se controla seleccionando el radio de curvatura de la superficie cóncava.

Comportamiento friccionante.- Los dispositivos con superficie deslizante esférica de radio R , proveen una fuerza de restauración V_r -proporcional al desplazamiento de diseño, DD , una relación fuerza- desplazamiento y una disipación de energía por ciclo ED .

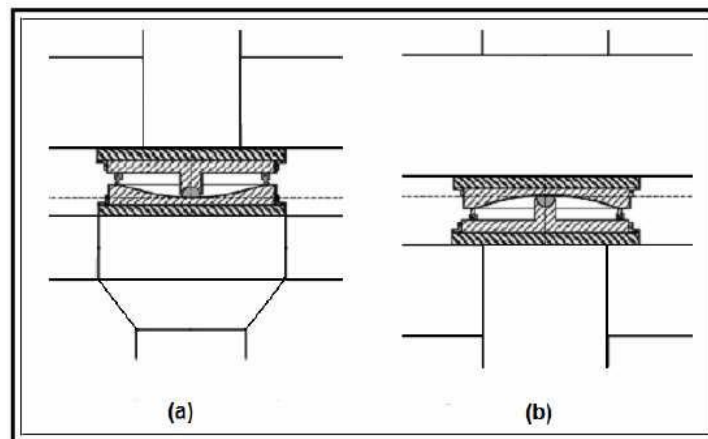


Fig. 2.10. Diferentes perspectivas de la ubicación del aislador tipo FPS.

Típicamente un aislador FPS puede proveer un periodo de vibración dinámico equivalente dentro de un rango de 2 a 5 segundos y una capacidad de desplazamiento superior a 1 m.

Un aspecto muy importante de los FPS es que el período de la estructura es independiente de la masa de la estructura soportada, lo cual es una gran ventaja sobre los aisladores de tipo elastomérico, ya que menos factores son involucrados en la selección del aislador.

Es así que en los aisladores elastoméricos, para incrementar el periodo de un aislador sin variar las dimensiones en planta, se tiene que incrementar la altura del aislador, la cual está limitada por requerimientos de estabilidad. Para los FPS se puede variar el periodo simplemente cambiando el radio de la superficie cóncava, en tal virtud el tamaño del aislador será principalmente controlado por el máximo desplazamiento de diseño.

Otra ventaja del FPS es que tiene una muy alta capacidad de carga vertical, aprox. 130000 KN (13000 TON), una capacidad muy superior a la de los aisladores elastoméricos, que alcanzan valores de 15000 KN (1500 TON).

El sistema FPS hace que la estructura aislada se comporte como una estructura con base fija cuando las cargas laterales en ésta son menores que la fuerza de fricción. Una vez que las cargas laterales exceden esta fuerza de fricción, como en el caso de excitaciones debidas a acciones sísmicas, el sistema responderá en su periodo de aislamiento. El coeficiente de fricción dinámico puede variar en un rango de 4 a 20% para permitir diferentes niveles de resistencia lateral y de disipación de energía.

2.2.4. EXPERIENCIA MUNDIAL Y EN ECUADOR

El concepto de aislación basal esta ahora ampliamente aceptado en regiones del mundo propensas a sufrir movimientos telúricos, es así que actualmente existen más de 300 estructuras en todo el mundo con algún tipo de aislación basal.

En los terremotos de Northridge, USA (1994) y Kobe, Japón (1995) se pudo comprobar con éxito las ventajas de la aislación sísmica, al observar el excelente comportamiento de los edificios aislados frente a los convencionales.

Existen muchos ejemplos en Estados Unidos y Japón, algunos a mencionar en Norteamérica son: Foothill Communities Law and Justice Center; Fire Command and Control Facility, Los Angeles (Fig. 2.11), California estos se

encuentran aislados con HDR; un edificio de oficinas para la empresa Auto Zone fue construido utilizando aisladores HDR y LRB en conjunto; la reparación del Oakland City Hall se realizó con LRB y el caso mencionado de Court of Appeals (Fig. 2.12) que fue refaccionado protegiéndolo con FPS.

El caso de Japón existen muchos edificios aislados como: West Japan Postal Center; en este país existe una gran cultura sísmica, lo cual se incrementó después del terremoto de Kobe, ya que antes de este evento la cantidad de edificios aislados era de 80, para luego crecer a un ritmo de 20 edificios aislados por mes.

Otro país importante sísmicamente es Nueva Zelanda, fue en este país en donde se inventó los aisladores con núcleo de plomo, por lo cual muchos de sus edificios aislados son con LRB, entre ellos tenemos: UnionHouse en Auckland, el NationalMuseum y el ParlamientHouse (Fig. 2.14).

En Italia también se han desarrollado proyectos que cuentan con aislación sísmica, el edificio de Telecom en Ancona, cuenta con un sistema de apoyos HDR (Fig. 2.13).



Fig.2.11. Fire Command and Control Facility



Fig. 2.12 Court of Appeals



**Fig.2.14 Parlamento,
Nueva Zelanda**



Fig. 2.13 Telecom, Italia

En Chile en el año 2002 se construyó la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Chile, esta estructura es de 5 pisos y tiene 25 aisladores de alto amortiguamiento (HDR), 17 LRB y 11 dispositivos deslizantes friccionales.

El primer hospital de gran envergadura con aislación basal en Chile es el Hospital Militar (Fig. 2.15), construido durante el año 2004, con una superficie aislada de aprox. 45000 m² (el área total de construcción es de 90000m²), con 164 aisladores, de ellos 114 MDB y 50 LRB.



Fig. 2.15 Hospital Militar, Santiago de Chile

De la misma forma estos sistemas de aislación sísmica se han implementado también en estructuras de tipo esencial así como los hospitales, tal es el caso del HOSPITAL CLÍNICO UNIVERSIDAD DE LOS ANDES en Santiago, Chile; un edificio de 7 pisos y dos niveles de estacionamientos con un área construida de 56840 m², mismo que fue construido del 2006 al 2008 el diseño de aislamiento sísmico consta de 118 aisladores elastoméricos, 20 aisladores ubicados a nivel de cimentación y 98 sobre el cielo del primer nivel de estacionamientos. Fig. 2.16 y 2.17



Fig. 2.16 Hospital Clínico los Andes. Perspectiva

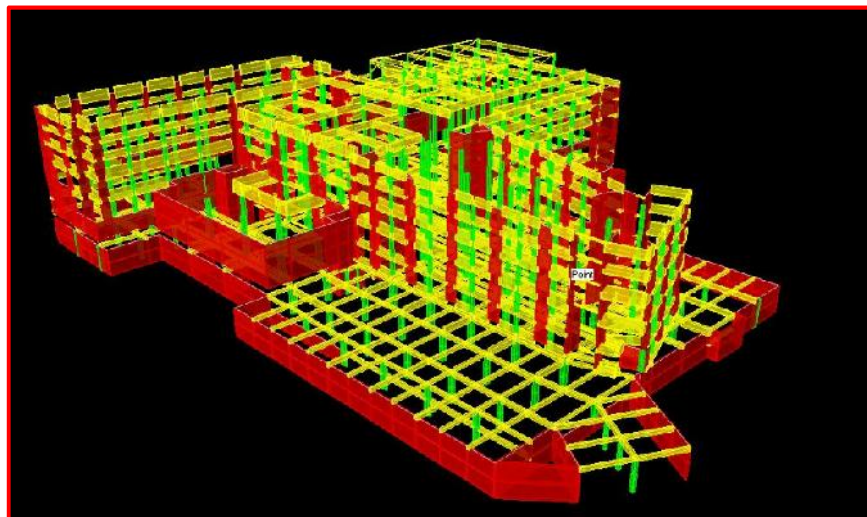


Fig. 2.17 Hospital Clínico los Andes. Modelo Estructural ETABS

El aislamiento basal ha ido tomando mayor importancia y confianza, debido a los buenos resultados que han entregado, en los países altamente sísmicos se está implementando fuertemente este sistema. En Ecuador no se han dispuesto recursos para investigación, aun no se ha involucrado el estudio e implementación del aislamiento basal en edificios. Los lamentables desastres ocurridos como consecuencia de los sismos de Haití y Chile han llevado a la reflexión sobre el grado de impacto que estos tienen en el daño de la infraestructura y en general al desarrollo de los países y sobre todo en la pérdida de vidas humanas.

Cabe resaltar el contraste que se genera entre los sismos de Haití y Chile en el primero con un sismo de magnitud 7.0 se perdieron 230 mil vidas humanas, su infraestructura quedo devastada, sus edificaciones y viviendas fueron construidas con materiales inadecuados sin participación técnica adecuada y ninguna norma que rija su ejecución, por el contrario en Chile con un sismo de magnitud 8.8 causó menores pérdidas económicas y de vidas humanas, la aplicación de un código de construcción evitó que haya mayor pérdida y daños. Estos eventos demuestran que el impacto de un evento telúrico depende básicamente del contexto sociopolítico, económico, y fundamentalmente tecnológico en el cual se produce.

No hay duda de que un movimiento telúrico de esa magnitud hubiera causado un daño muy superior en cualquier otro país en vías de desarrollo como es el caso de Ecuador.

Nuestro país por estar ubicado en la zona de mayor riesgo sísmico del mundo, durante su historia ha sido impactado por la acción sísmica por tal motivo no está libre de que fenómenos de esta naturaleza vuelvan a repetirse, presentándose un escenario de gran vulnerabilidad en lo institucional, infraestructura y vivienda.

La prevención en el caso del sector de la construcción, significa aplicar los conocimientos técnicos más avanzados especialmente en ingeniería sismo-

resistente y utilizar materiales y procesos constructivos que permitan asegurar un buen comportamiento y calidad en las edificaciones.

CAPÍTULO III

3. CARACTERIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LOS EDIFICIOS

3.1. VALORES CARACTERISTICOS, MODOS DE VIBRACIÓN

Todas las estructuras poseen masa y elasticidad, por lo tanto son capaces de vibrar. Estas vibraciones pueden ser excitadas por fuentes tales como motores, compresores, vientos, terremotos, etc. Si la frecuencia de estas fuentes de vibración coincide con una de sus frecuencias naturales de vibración, la estructura entra en resonancia y su amplitud de vibración puede alcanzar magnitudes lo suficientemente grandes para dañar o incluso destruirla. Para evitar la resonancia es necesario conocer las frecuencias naturales de vibración de los diferentes modos de vibración de la estructura, como también el espectro de frecuencias de las fuentes de vibración con las que la estructura puede entrar en contacto.

Los parámetros más importantes en la vibración de un edificio como en cualquier estructura, son: las frecuencias naturales, las formas de los modos y el amortiguamiento.

En un edificio existen dos clases de vibraciones: las que provienen de una fuente interna y las que provienen de una fuente externa. La mayor parte de las vibraciones que se generan en el interior de los edificios son provocadas por máquinas (ascensores, ventiladores, bombas, etc.) o por los ocupantes (la marcha, el salto, la danza, la carrera). Las fuentes de vibraciones externas son generalmente debidas a: tráfico en calles o rutas y ferrocarriles, actividades relacionadas con la construcción, los vientos muy fuertes y los temblores de tierra. Estas vibraciones pueden producir desde solamente una sensación de desagrado de los ocupantes hasta daños en el funcionamiento de ciertos instrumentos o en la estructura del edificio.

En una estructura tridimensional (x, y, z) como los edificios, es útil y suficiente asumir la hipótesis del diafragma rígido de piso, lo cual acepta que las plantas o losas de entrepiso incluyendo las terminaciones, divisiones y vigas, y además las porciones de columnas y muros que constituyen la mitad inferior y superior del nivel considerado, se encuentran concentrados en el centro de masa de la losa respectiva y que son indeformables en el plano (x, y), de esta forma el problema global se reduce a tres grados de libertad por piso, dos traslaciones horizontales (u_x, u_y) y una rotación vertical (r_z), a estos se conocen como desplazamientos maestros de piso. Normalmente estos grados de libertad se concentran en un nudo denominado maestro, al cual están conectados rígidamente los nudos restantes, a estos nudos se los denomina dependientes y tienen los grados de libertad opuestos a los nudos maestros, es decir dos rotaciones horizontales (r_x, r_y) y una traslación vertical (u_y). Fig. 3.1

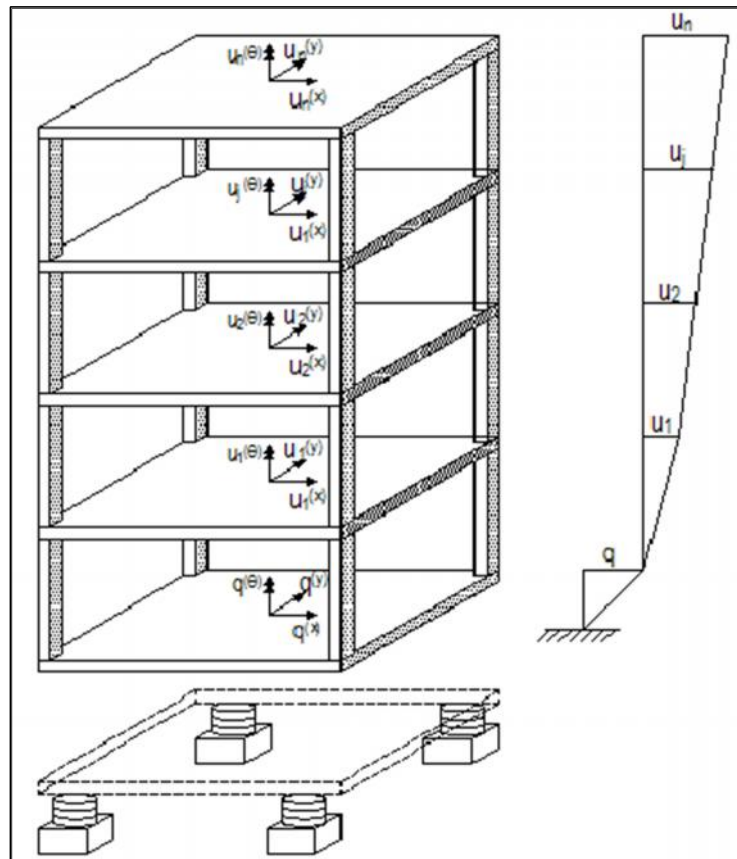


Fig. 3.1 Tres grados de libertad por planta

El trabajo actual consta como ya sabemos de tres bloques, el primero llamado Hall Principal el cual tiene siete niveles, el mismo que puede idealizarse como pórticos de varios niveles con diafragma de cuerpo rígido asumiendo que la masa está concentrada en cada nivel; el segundo bloque es de nombre Gobernantes y consta de 5 niveles con diafragma de cuerpo rígido, finalmente el bloque conocido como Consulta Externa el mismo que consta de tres plantas; las columnas se suponen axialmente inextensibles pero lateralmente flexibles. La respuesta dinámica del sistema está representada por el desplazamiento lateral de las masas con el número de grados de libertad dinámica o n modos de vibración que son iguales al número de pisos de la estructura por los 3 grados de libertad. La vibración resultante del sistema está dada por la superposición de las vibraciones de cada masa. Cada modo individual de vibración tiene su propio periodo y puede ser representado por un sistema simple del mismo periodo.

La Figura 3.2 muestra los modos de un sistema a porticado de 7 niveles. El modo de vibración con periodo mayor (frecuencia baja) es llamado modo fundamental de vibración; modos con periodos cortos son llamados modos armónicos (frecuencias altas). Para los edificios de menos niveles solo hace falta tomar los primeros modos de vibración.

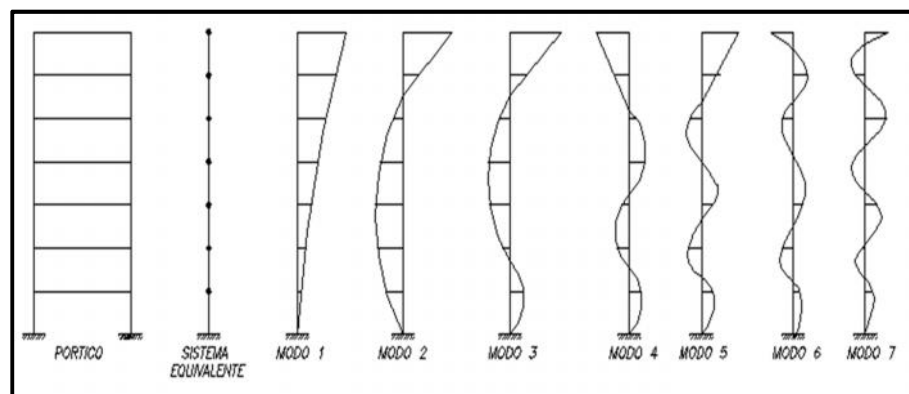


Fig. 3.2 Esquema de modos de vibración

Los modos se ordenan de acuerdo a valores crecientes de la frecuencia. La frecuencia más baja se denomina *frecuencia fundamental*. Una regla empírica para estimar la frecuencia fundamental f_1 de un edificio es:

$$f_1 = 10/N \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde N es el número de pisos y f_1 la frecuencia en *Hertz*.

En Resumen:

Las estructuras reales son sistemas de muchos y diversos grados de libertad, tienen muchos modos de vibración, cada uno con su propia frecuencia y su propio período.

El modo de frecuencia más baja (período más grande) es la frecuencia fundamental (o periodo fundamental).

Todas las estructuras tienen un amortiguamiento inherente que depende del tipo de construcción.

El amortiguamiento habitualmente aumenta con el incremento de los desplazamientos.

Los efectos de la vibración pueden ser mitigados alterando el periodo de vibración de la estructura agregando masa, o incrementando el amortiguamiento mediante un amortiguamiento artificial.

Los efectos dinámicos son aspectos esenciales de un proyecto por una variedad de circunstancias como:

- a). Una carga dinámica (fuerzas variables en el tiempo) puede tener un efecto de resonancia en la estructura;
- b). El viento produce resonancias en estructuras que tienen un período fundamental alto (< de 2 s).

- c). Los terremotos pueden entrar en resonancia más fuertemente con estructuras de período más corto (<1 s), pero pueden hacerlo también con estructuras de período más largo.
- d). Las cargas de alta frecuencia como el caminar o correr (1 Hz – 3 Hz) puede entrar en resonancia con el sistema piso.
- e). Una estructura puede vibrar en frecuencias en las que las personas son sensibles (3 Hz – 8 Hz).

3.2. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS (TRADICIONAL)

El Hospital Regional de Ambato está ubicado en la parte urbana de la ciudad, el hospital en forma global consta de 15 edificios o bloques en los cuales se encuentran 15 unidades o dependencias, las mismas que tienen un área aproximada de 16 765.379 m². Este trabajo se enfoca en el análisis de tres bloques con cuatro unidades los mismos que tienen las siguientes características: el edificio Hall Central con un área de 902.323m² y una altura de 27.72m distribuida en 7 plantas, con luces entre columnas de 7.60m y 7.20m y losas alivianadas con una altura típica de entrepiso de 3.96m.

El bloque llamado Gobernantes con un área de construcción de 999.702m² y una altura de 23.76m distribuidos en 5 plantas, con luces típicas de 7.20m y losas alivianadas con una altura típica de entrepiso de 3.96m. Finalmente en bloque de consulta externa uno y dos, con un área de construcción de 2180.856m² y una altura de 11.88m, con luces entre columnas de 6.00m y 7.20m, losas alivianadas y cubierta metálica distribuidos en tres plantas.

La tipología estructural del edificio Hall Central es de hormigón armado, con ejes resistentes en dos direcciones; conformado por 11 ejes resistentes correspondientes a pórticos y diafragmas de hormigón armado. Cuenta

con pórticos sismos resistentes constituidos por columnas, diafragmas y vigas de H.A, éstos tienen columnas circulares de 1,20 m de diámetro y cuadradas de 1,20 m de lado; vigas de 0.40m y 0.50m de ancho con alturas de 0,70m; bajo las cuales se encuentran muros interiores de mampostería que sirven para dividir las áreas del hall, repitiéndose esta distribución en todos los niveles del edificio.

Los diafragmas de 40cm de espesor se presentan principalmente en la periferia del edificio y alrededor de los ascensores, mientras que en la parte central predominan las columnas circulares.

En toda su altura posee un sistema de losas de hormigón armado con un espesor de 30cm, lo que genera el efecto de diafragma para la estructura. La escalera de acceso se encuentra entre los ejes 9-10 y N-O, la escalera de emergencia se encuentra ubicada entre los ejes J'-L y 8-9, mientras que los ascensores de acceso de personal y montacargas se ubican en los ejes N-O y 10-11, L-M y 8-9, J'-L y 8-9 respectivamente, además existe un espacio vacío a manera de tragaluz entre los ejes M-N y 9-11. Estas son todas las discontinuidades que presentan las losas en todos sus niveles.

La cimentación del edificio corresponde a un sistema de vigas de en ambas direcciones bajo cada eje las mismas que son de sección tipo "T" invertida con dimensiones de 3,0m de base, altura del ala de 0,50m y peralte de 2.60m. El nivel de cimentación está a una profundidad de 4,50m respecto de la superficie libre del suelo.

La tipología del edificio Gobernantes es de hormigón armado, con ejes resistentes en dos direcciones; conformado por 11 ejes resistentes correspondientes a pórticos y diafragmas de hormigón armado. Cuenta con pórticos sismos resistentes constituidos por columnas y vigas de H.A estos tienen columnas circulares de 1,00 m de diámetro y cuadradas de 1,00 m de lado; vigas de 0.50m de ancho con alturas de 0,75m y losas alivianadas de 0.30m con casetones recuperables.

Como característica tenemos que la primera losa está en el nivel N+7.92m y que en el nivel N+3.96 existe una disposición de vigas y columnas; este edificio consta de escaleras de emergencia que están entre los ejes 4-5 y L-M. Existen además dos ductos de iluminación y ventilación, los mismos que se encuentran en los ejes: 2-3 y M-N y el segundo en los ejes: 5-6 y M-N.

La cimentación del edificio está dispuesta con cuatro tipos de elementos, tres de tipo zapatas y una viga de cimentación en el extremo del edificio que está colindando con el A1 (Hall Principal). Los plintos son cuadrados y de dimensiones: 3.50m, 3.70m y 3.90m de lado y la viga de cimentación es tipo "L" con dimensiones: 1.80m de base, 0.55m de espesor del ala y 1.80m de peralte. La profundidad de cimentación está a 3.00m del nivel libre del suelo.

Finalmente el edificio Consulta Externa Cafetería es de hormigón armado, con ejes resistentes en dos direcciones; conformado por 13 ejes resistentes correspondientes a pórticos. Estos pórticos sismos resistentes constituidos por columnas y vigas de H.A estos tienen columnas circulares de 0.60m de diámetro y cuadradas de 0.60m de lado; vigas de 0.40m de ancho con alturas de 0,70m y losas alivianadas de 0.30m con casetones recuperables. Y Consulta Externa Auditorio con 12 pórticos de hormigón armado de columnas, vigas y losas de iguales dimensiones que la anterior.

El bloque se divide en dos partes en el eje V dando paso al eje V', en la primera parte existen varias dependencias médicas (salas de espera, consultorios, salas de reuniones, baños) y en la tercera planta se encuentra la cafetería, como es adecuado hay la ventilación entre los ejes: T-U y del 38 al 41.

La cimentación de esta parte del bloque C (cafetería) tiene los siguientes elementos: zapatas aisladas cuadradas de dimensiones de: 2.10m, 2.30m, 2.40m, 2.50m; además existen dos vigas de cimentación la primera en el eje P entre los ejes 38 hasta 43 de tipo "L" de dimensiones: 0.90m de base, 0.25m de altura del ala y 0.80m de peralte. La segunda en el eje 43 entre los

ejes T-U-V-V', de tipo "T" invertida donde la base mide 0.90m, 0.25m la altura del ala y 0.80m el peralte. La profundidad de cimentación se encuentra a -4.50m del nivel libre del suelo.

Desde el eje V' hasta el eje BB es la segunda parte del bloque C donde se encuentra el Auditorio, el mismo que tiene cubierta metálica, el ducto de ventilación se encuentra en los ejes X-Y y los ejes: 38 a 41.

La cimentación de este bloque contiene plintos o zapatas cuadradas de 2.10m, 2.30m, 2.40m, 2.50m, 2.70m, 3.00m, y una zapata combinada en los ejes V-V' con un ancho de 3.20m y 0.50m de altura de zapata. La profundidad de la cimentación se encuentra a nivel -4.50m desde la superficie libre del suelo.

Para el diseño y construcción del edificio se estableció un hormigón con resistencia de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, acero con una resistencia a la fluencia de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.

A continuación se presenta una serie de figuras, gráficos y esquemas que permitirán una adecuada interpretación de la disposición y características descritas de los edificios.

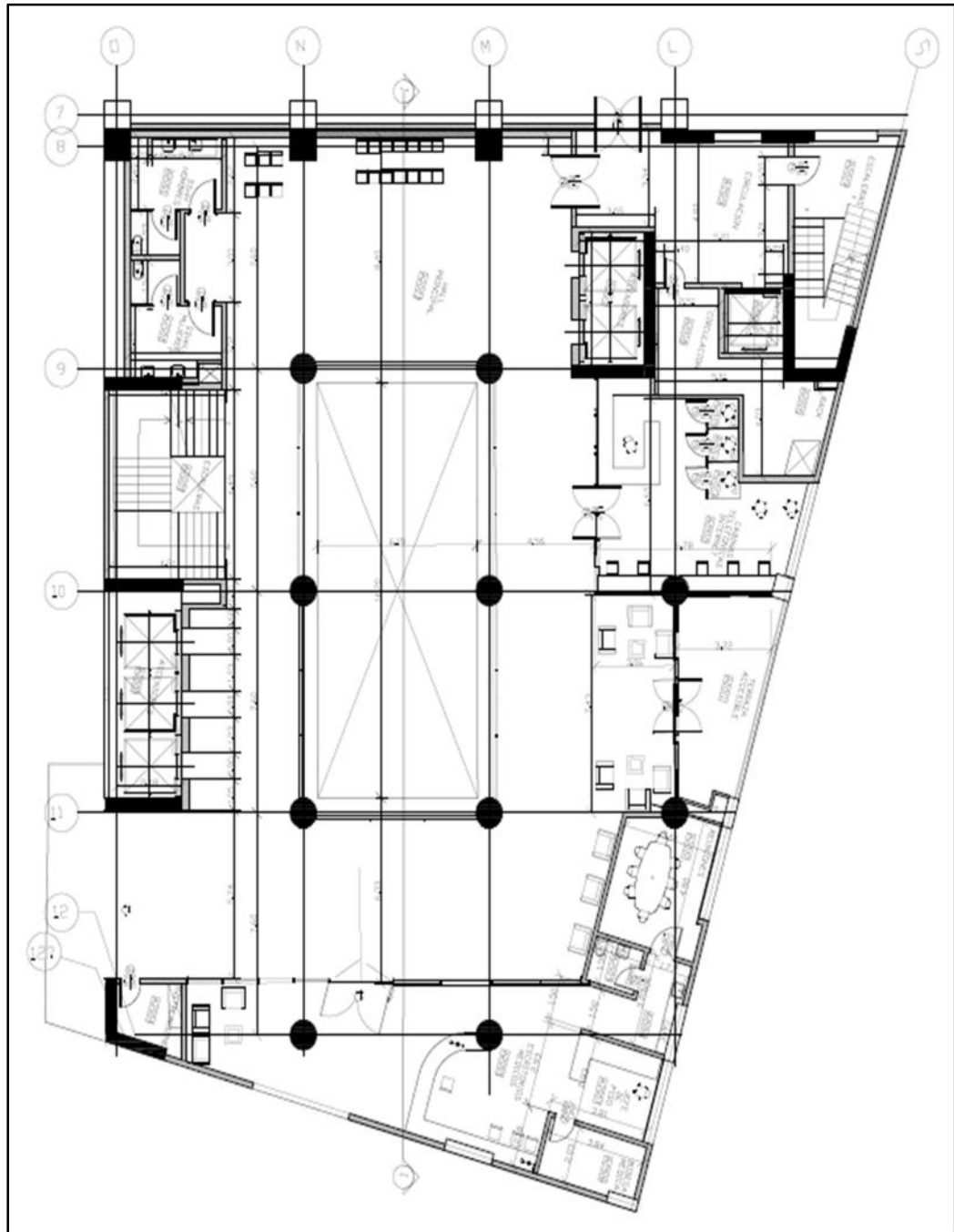


Fig. 3.3 Planta arquitectónica, Hall Central



Fig. 3.4 Fachada frontal, Hall Central



Fig. 3.5 Corte 2-2, Hall Central

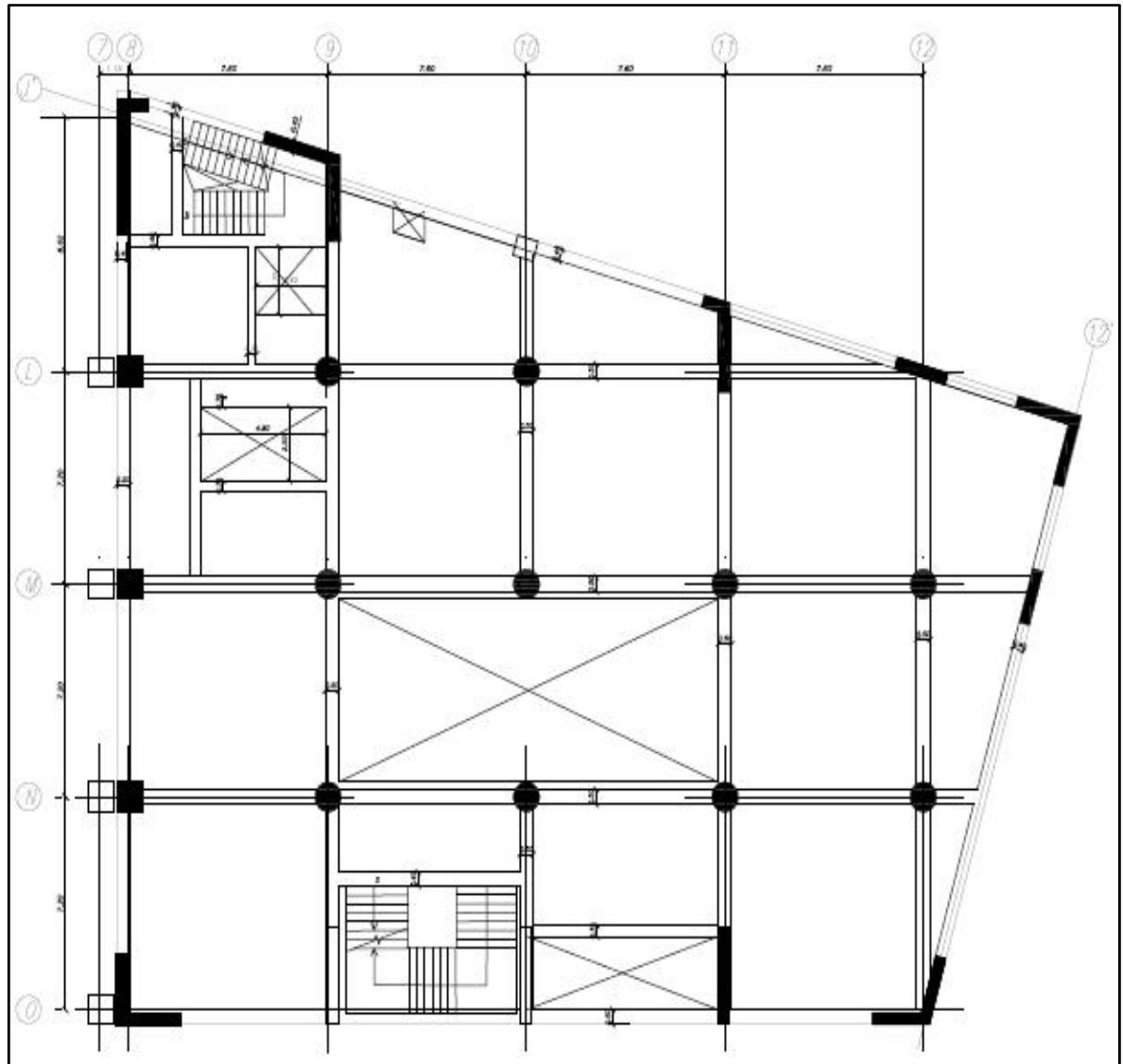


Fig.3.6 Planta estructural N+3.96, 7.92, 11.88, 15.84, 19.80, 23.76m

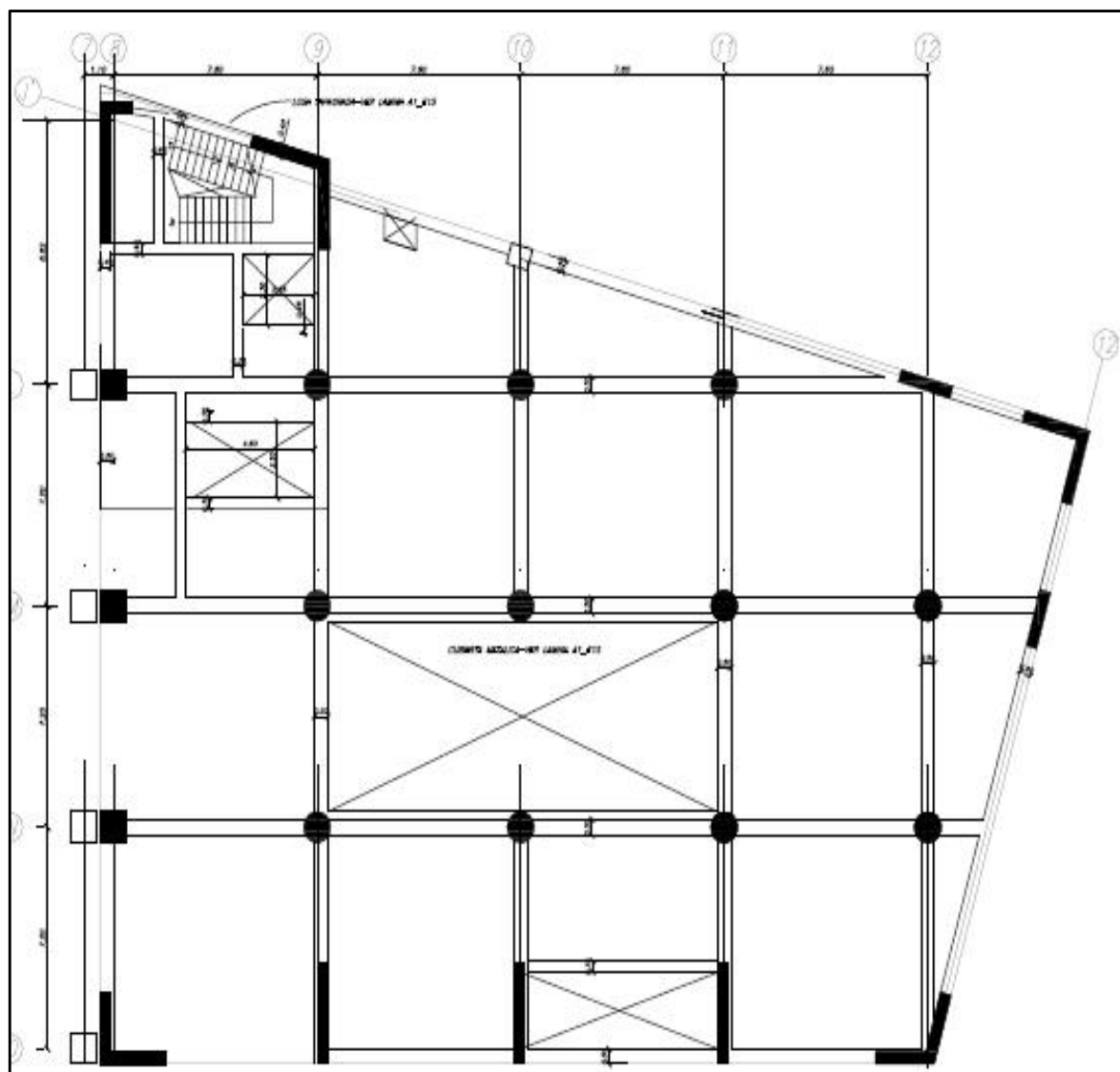


Fig. 3.7 Planta estructural N+27.72m

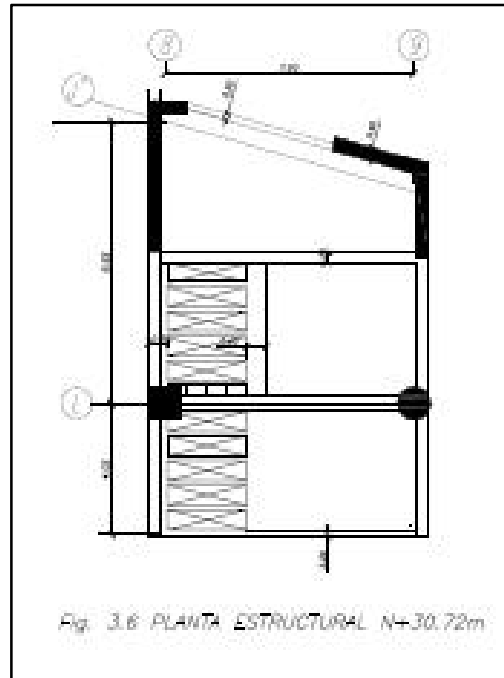


Fig. 3.8 Planta estructural N+30.72m

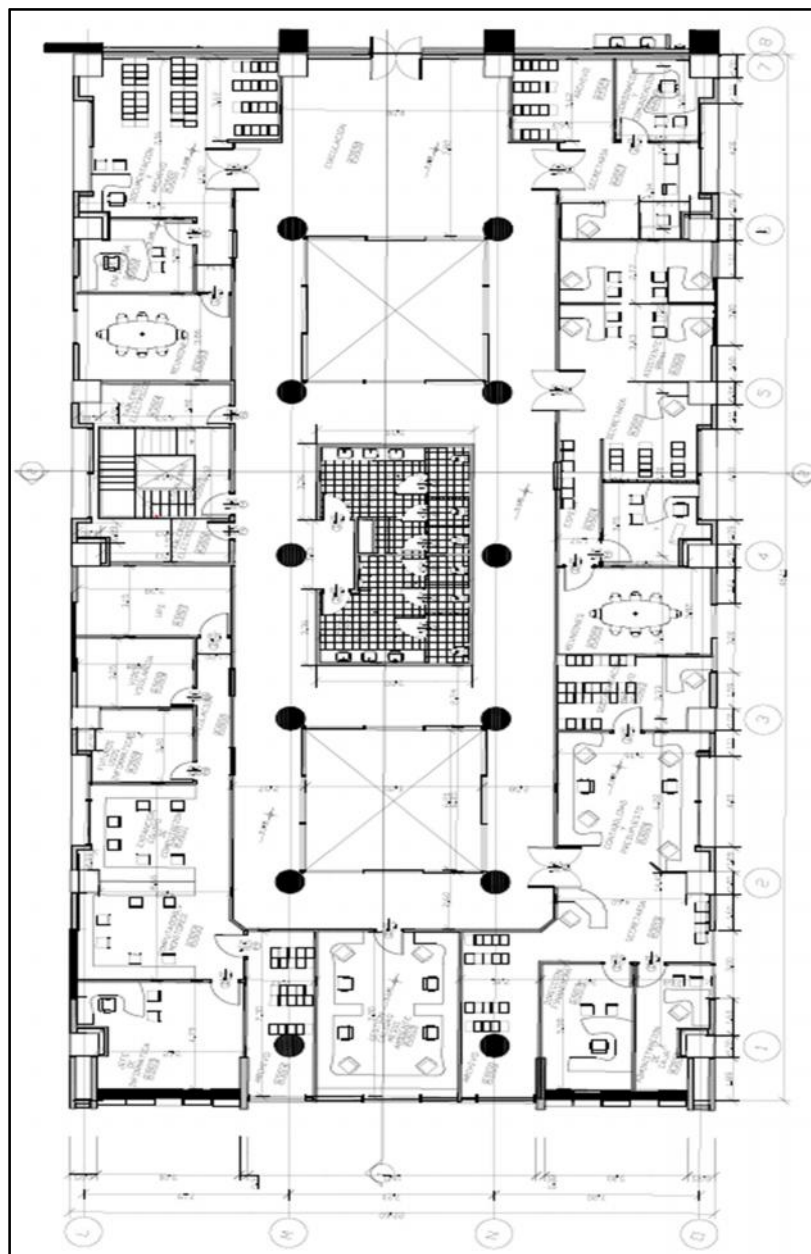


Fig. 3.9 Planta arquitectónica, Gobernantes

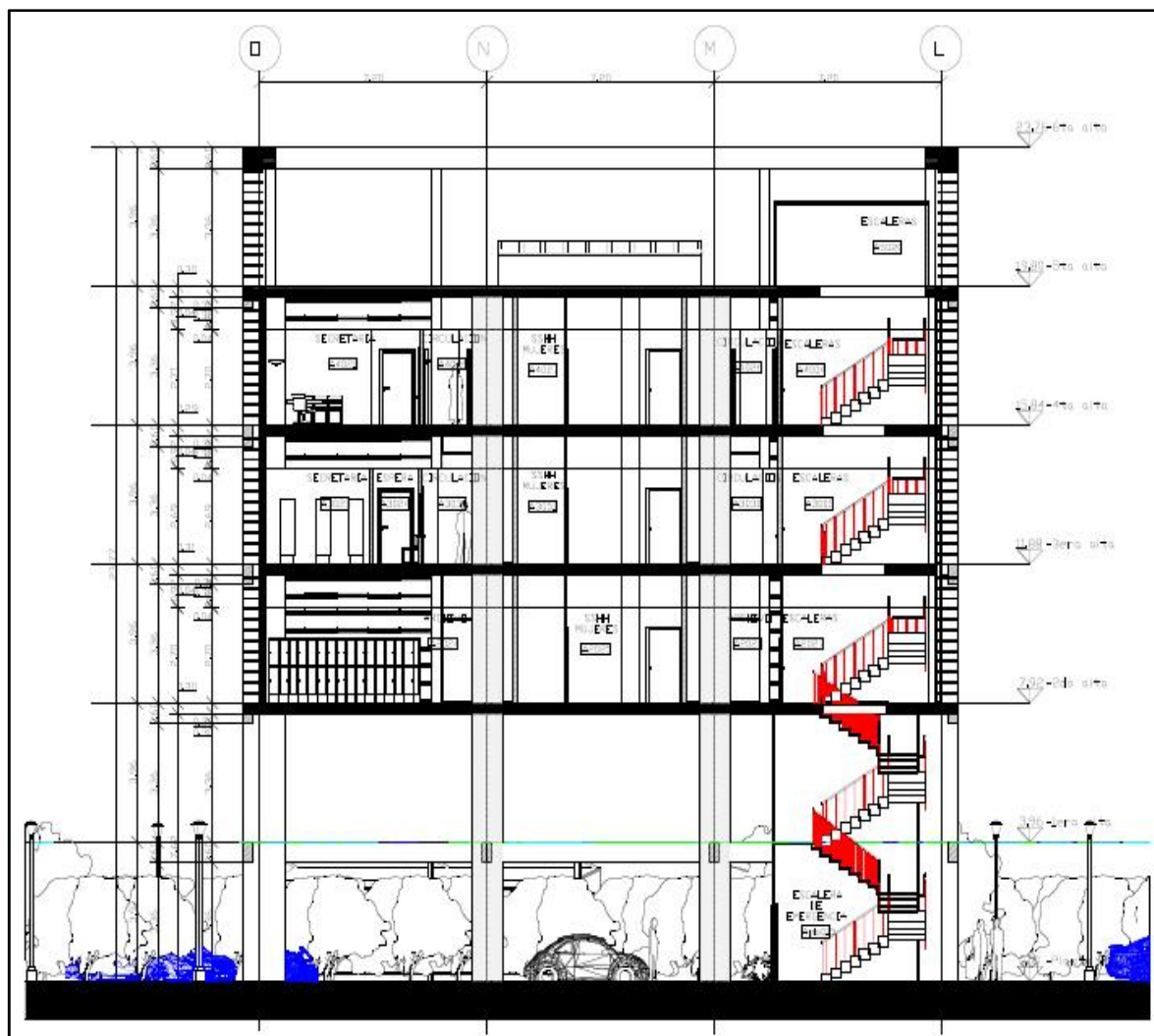


Fig. 3.10 Corte esquemático, Gobernantes

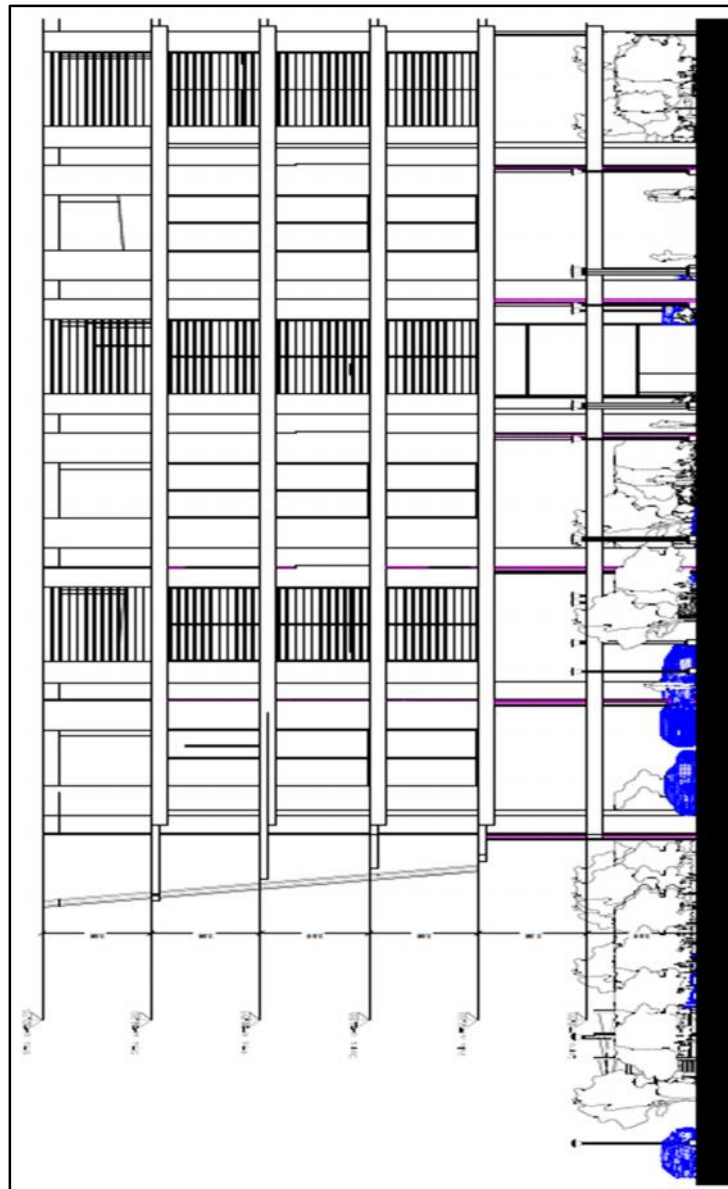


Fig. 3.11 Fachada lateral, Gobernantes

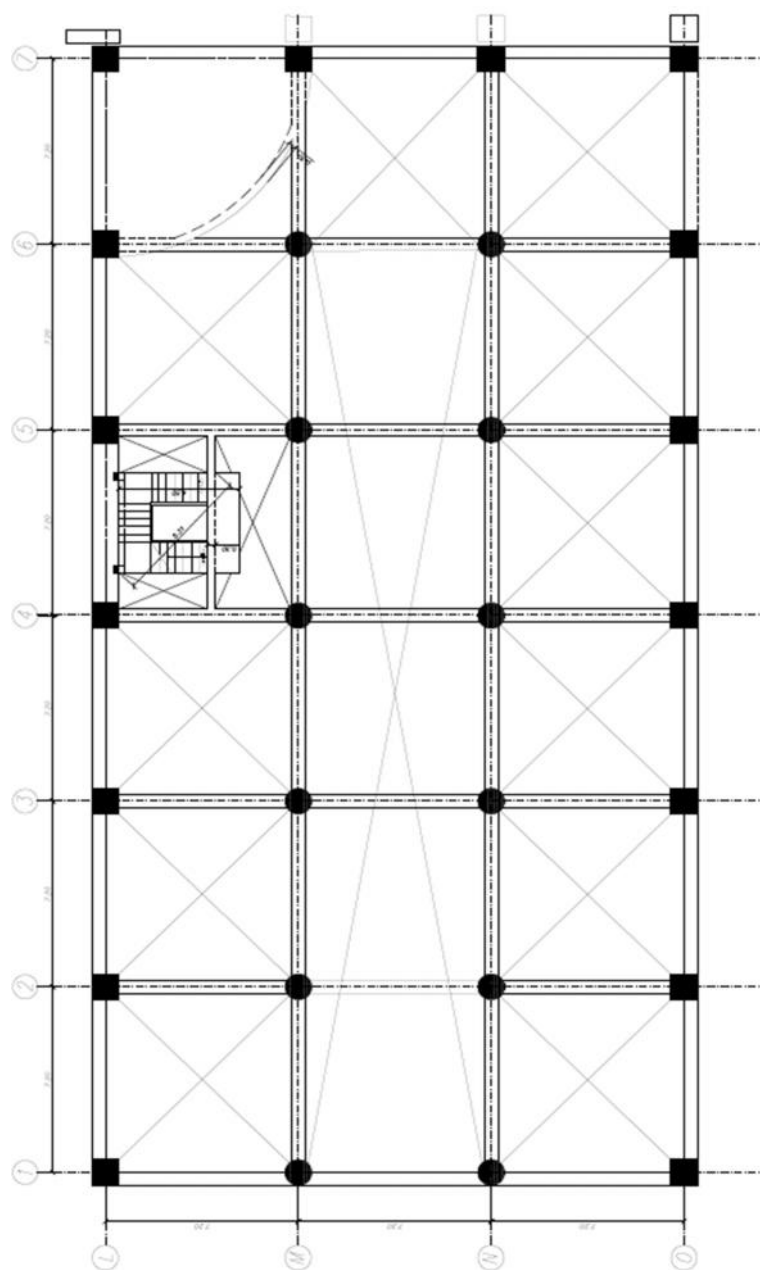


Fig. 3.12 Planta estructural N+3.96, Gobernantes

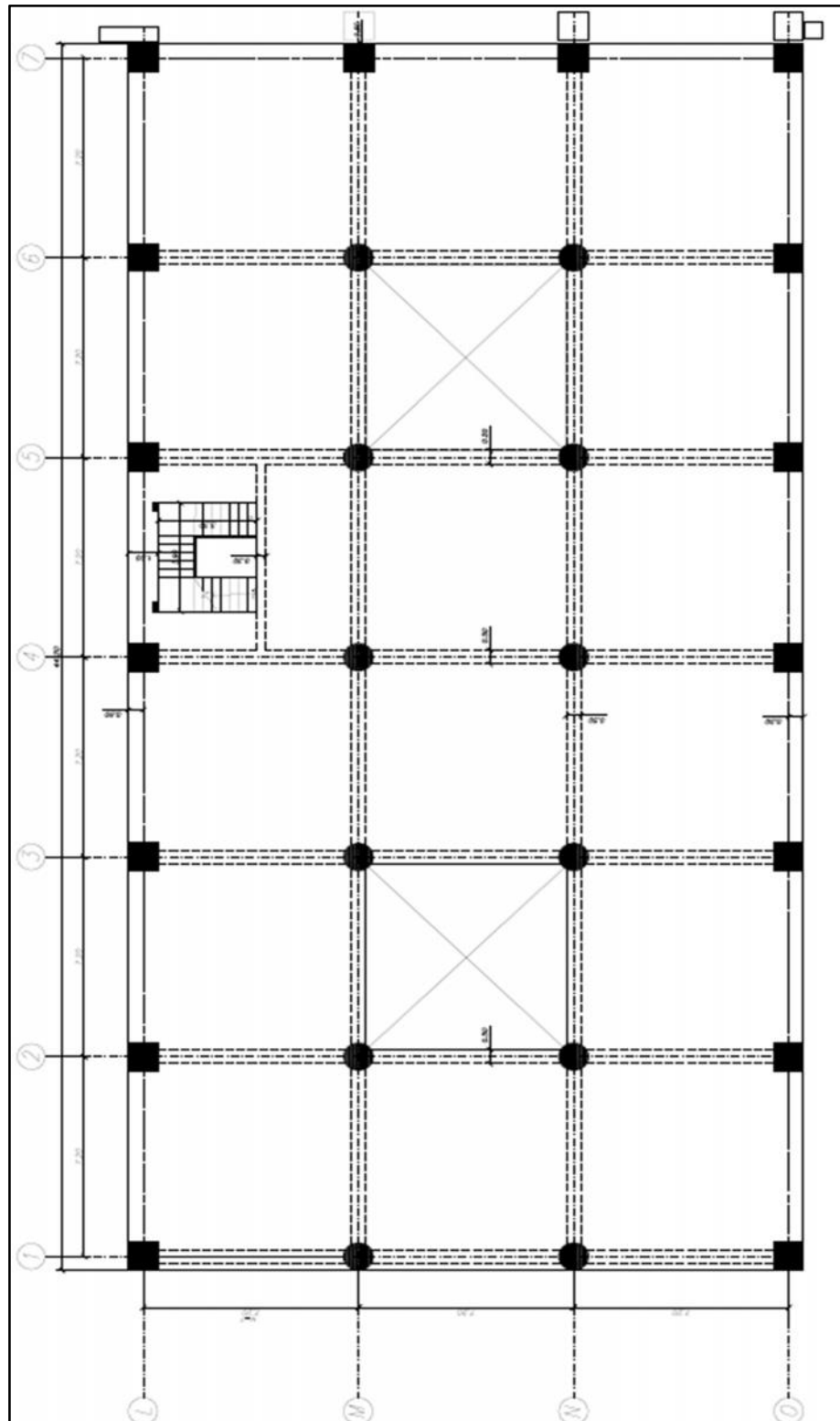


Fig. 3.13 Planta estructural N+7.92, 11.88, 15.84, 19.80m; Gobernantes

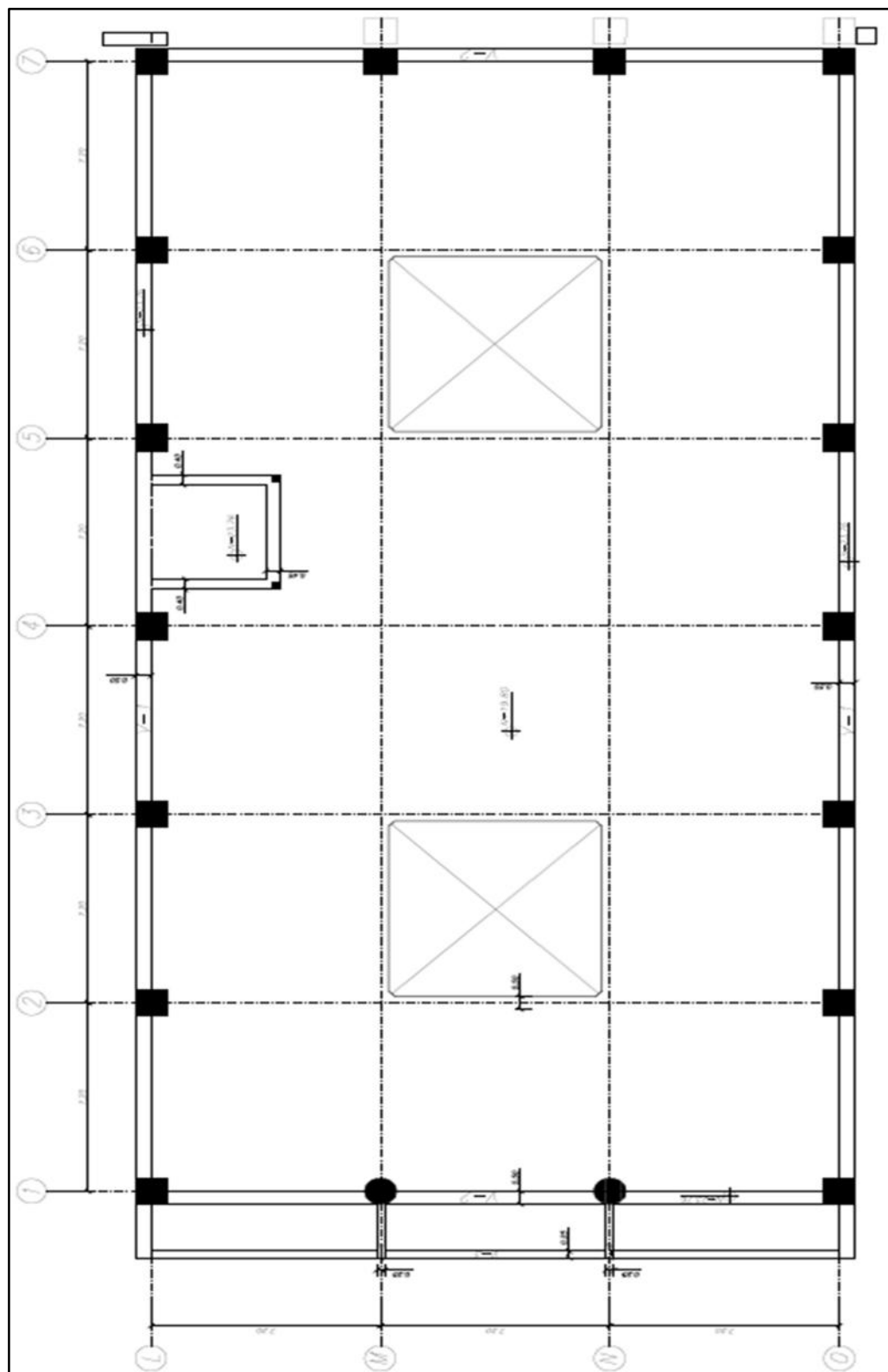


Fig. 3.14 Planta estructural N+23.76m, Gobernantes

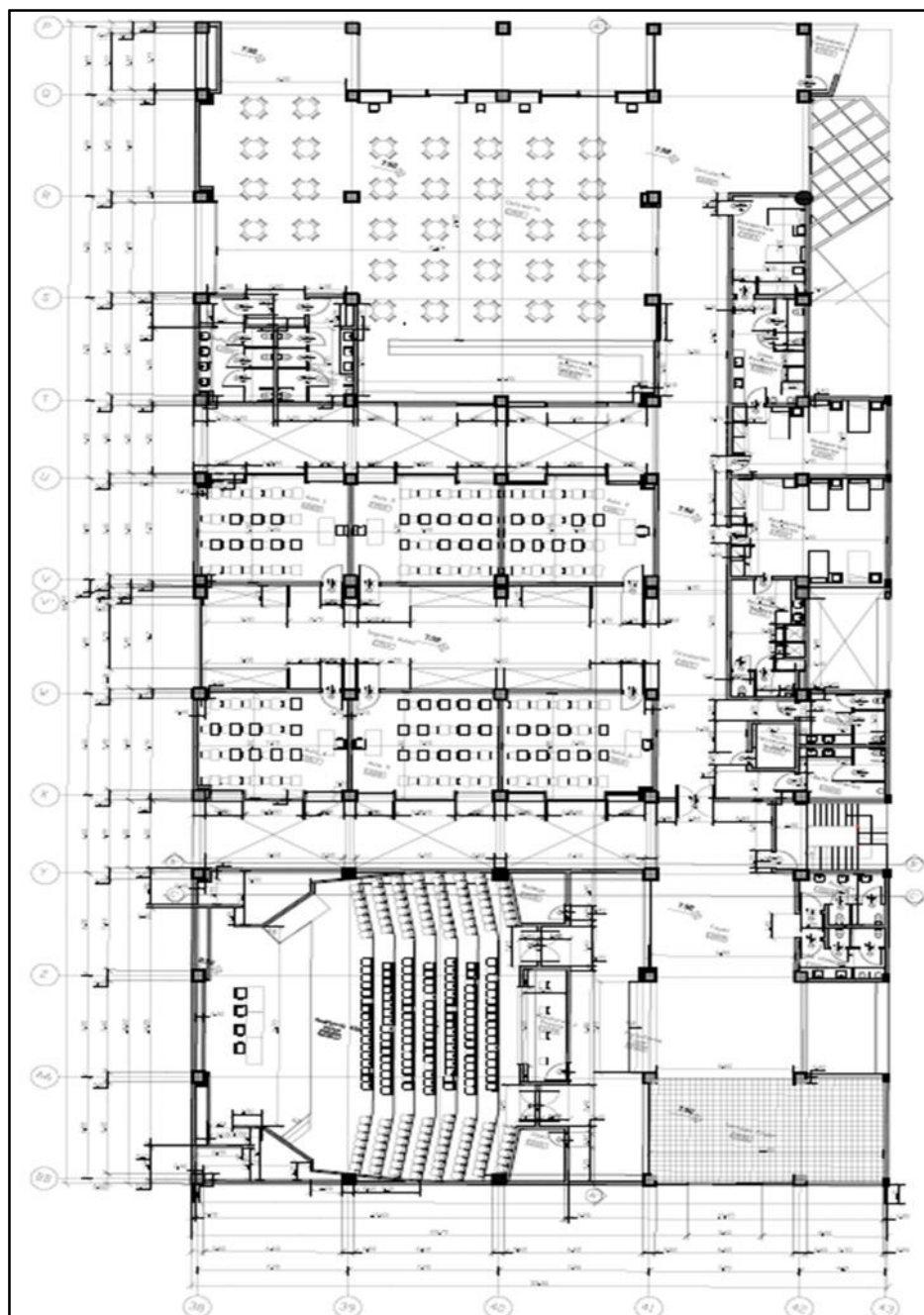


Fig.3.15 Planta arquitectónica, Consulta Externa I y II

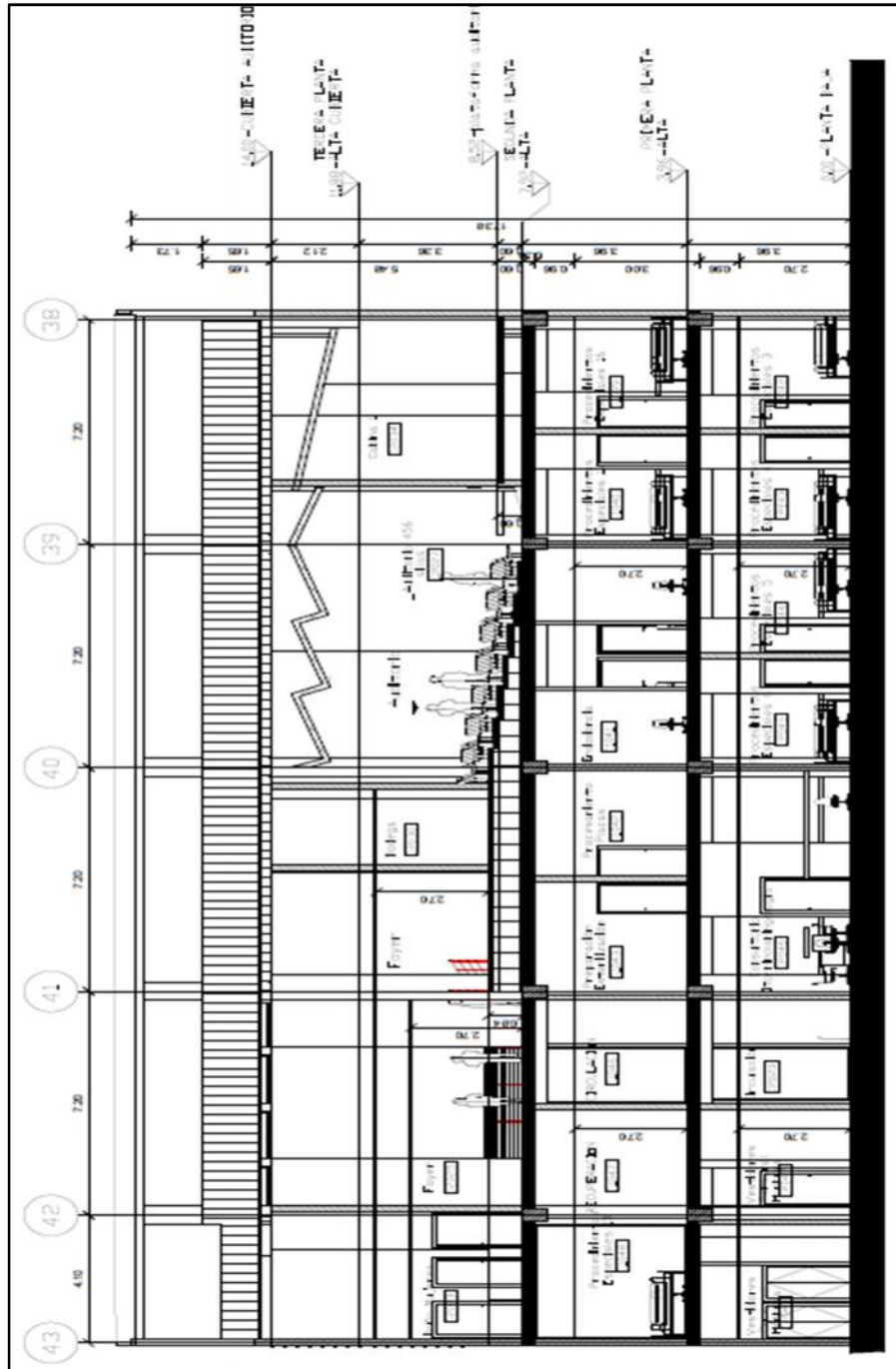


Fig. 3.16 Corte esquemático, Consulta Externa I y II



Fig. 3.17 Fachada este, Consulta Externa I y II

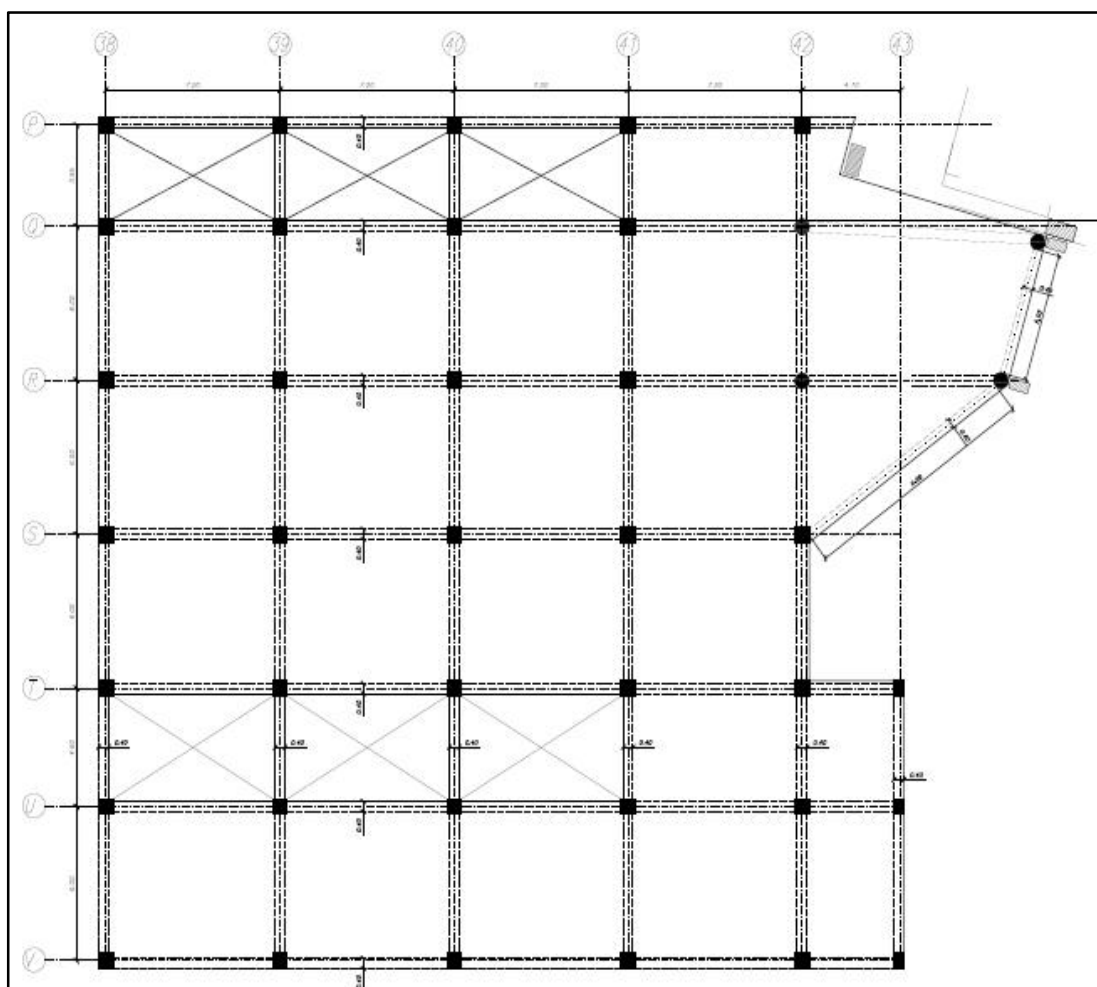


Fig. 3.18 Planta estructural N+3.96, Consulta Externa I

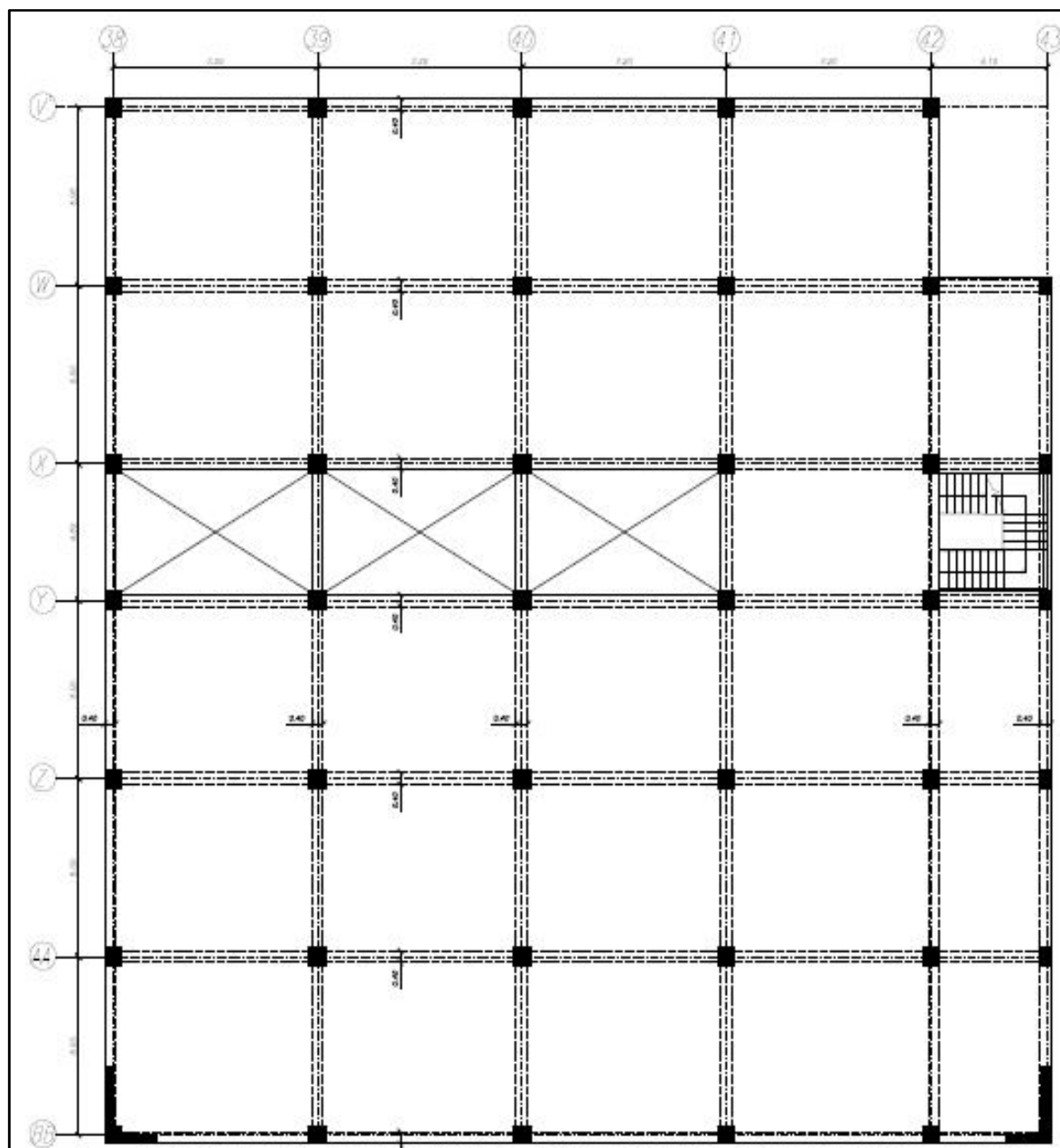


Fig. 3.19 Planta estructural N+3.96, Consulta Externa II

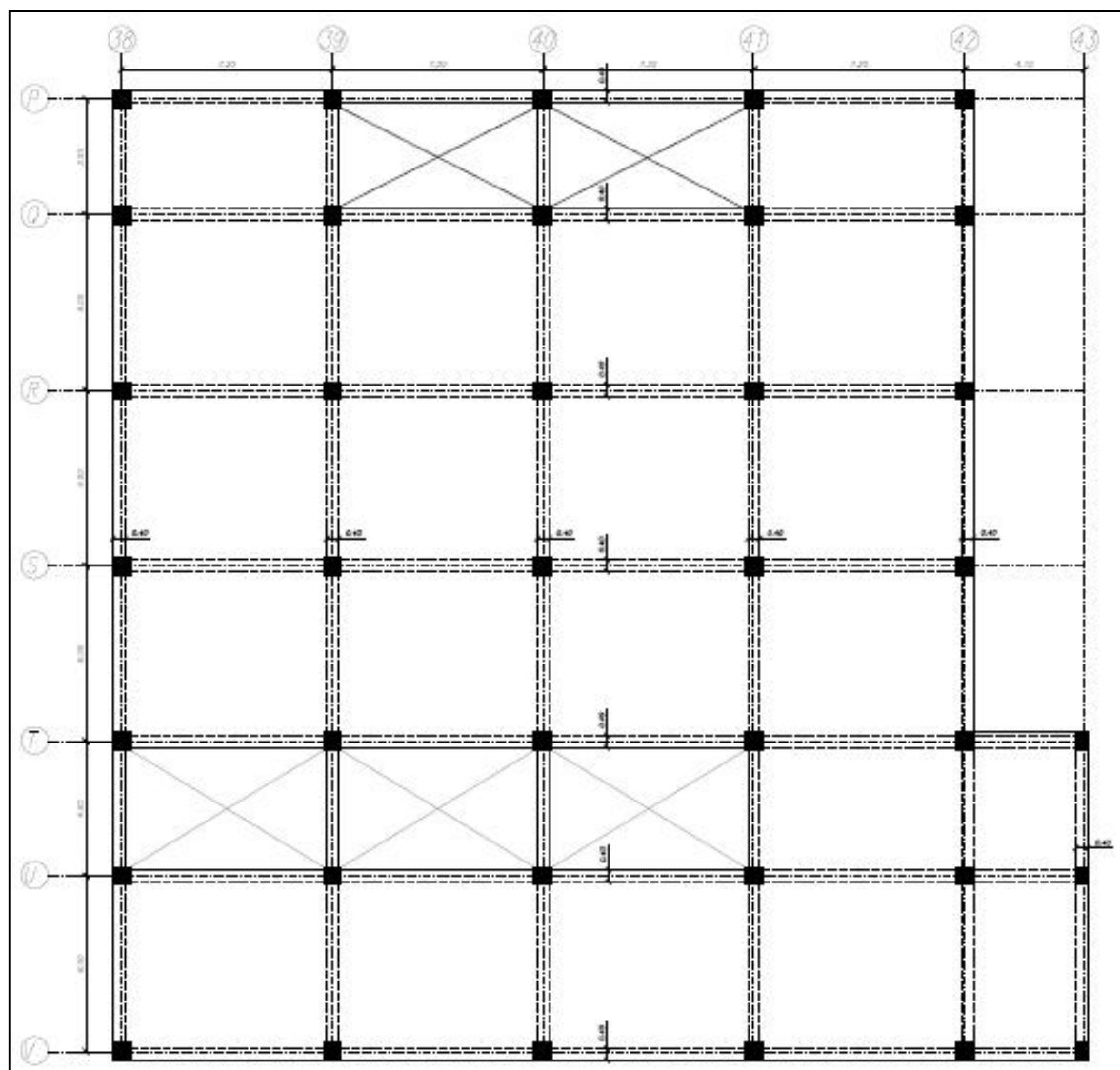


Fig. 3.20 Planta estructural N+7.92, Consulta Externa I

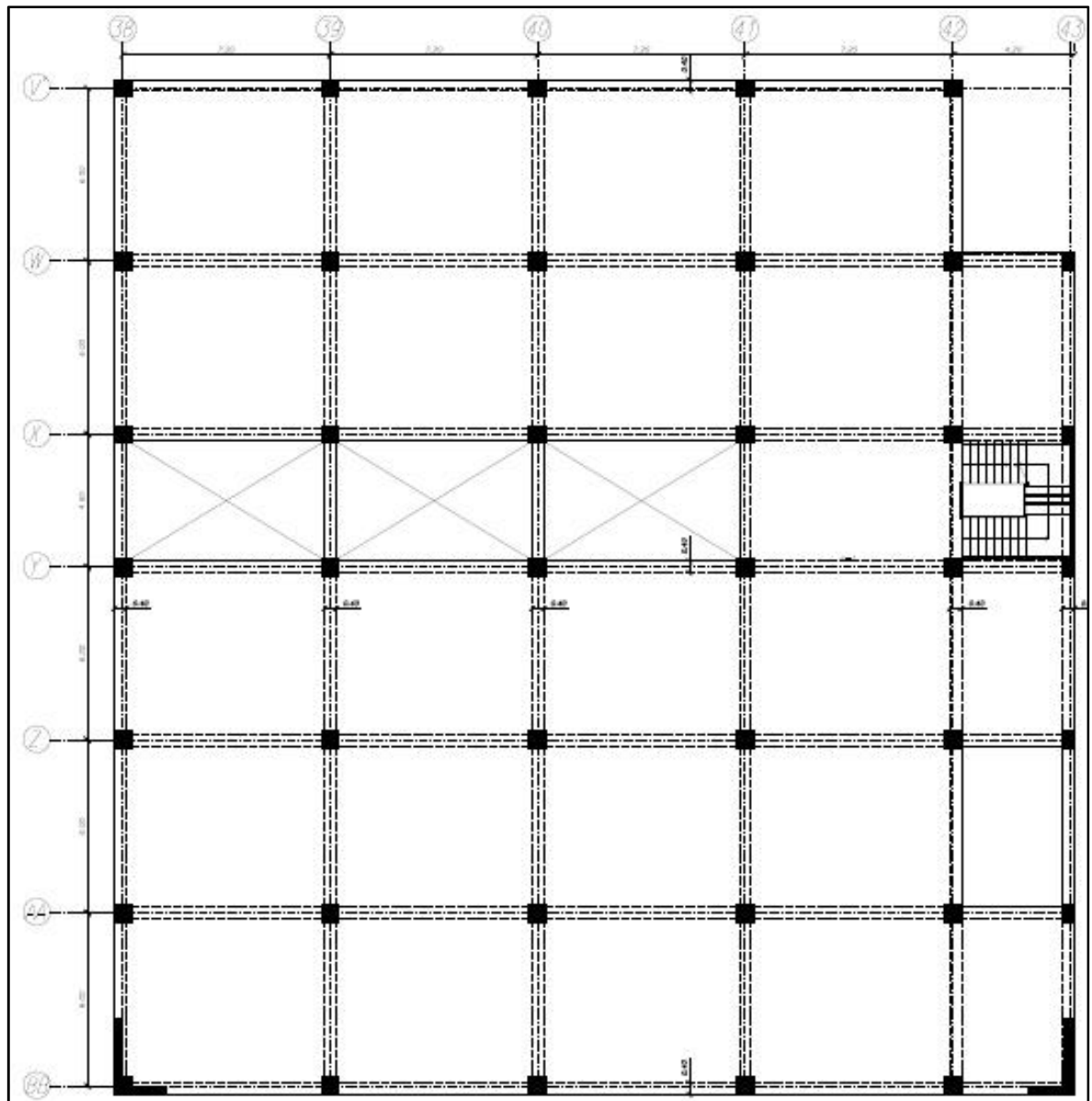


Fig. 3.21 Planta estructural N+7.92, Consulta Externa II

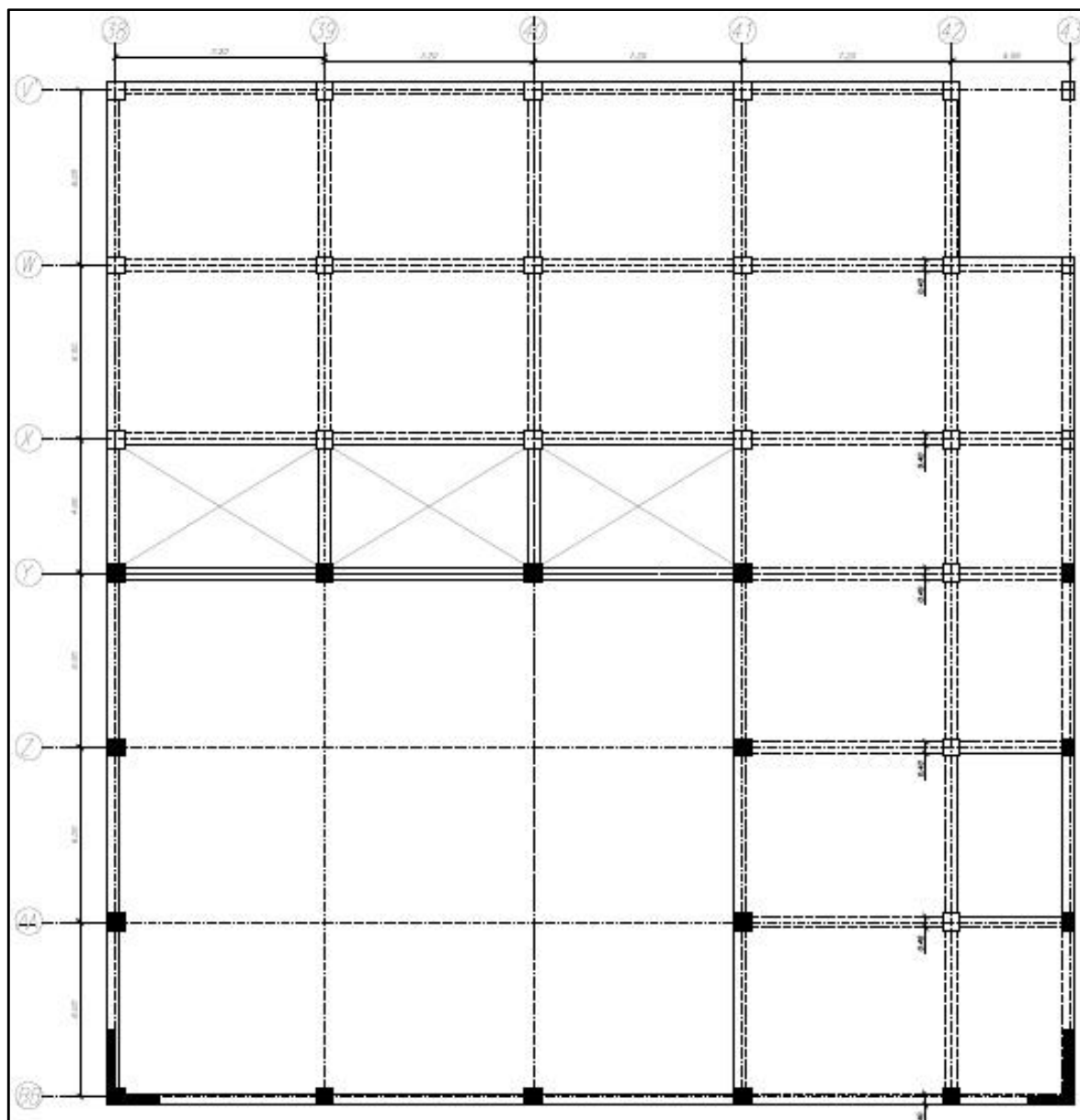


Fig. 3.22 Planta estructural N+11.88, Consulta Externa II

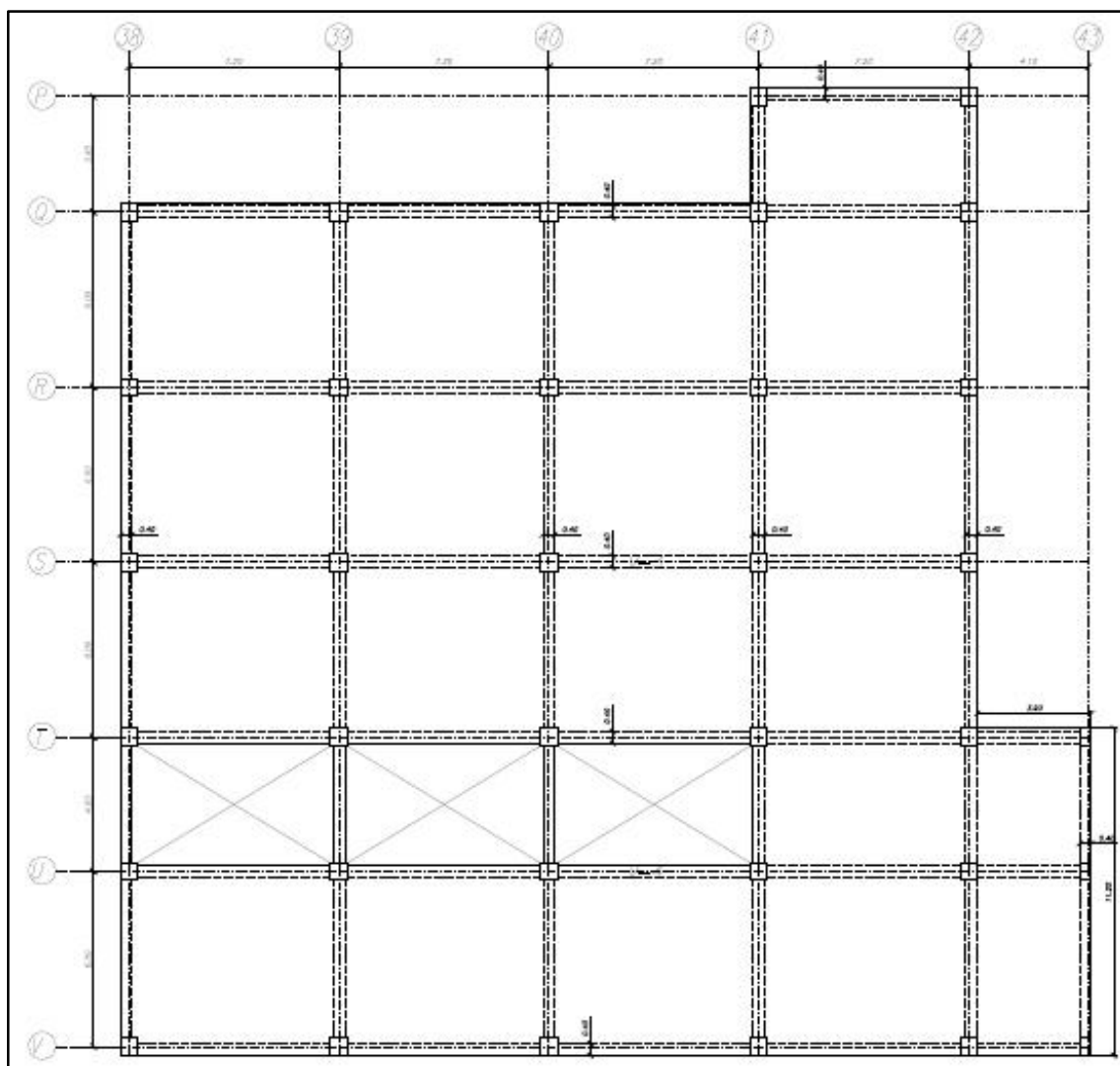


Fig. 3.23 Planta estructural N+11.88, Consulta Externa I

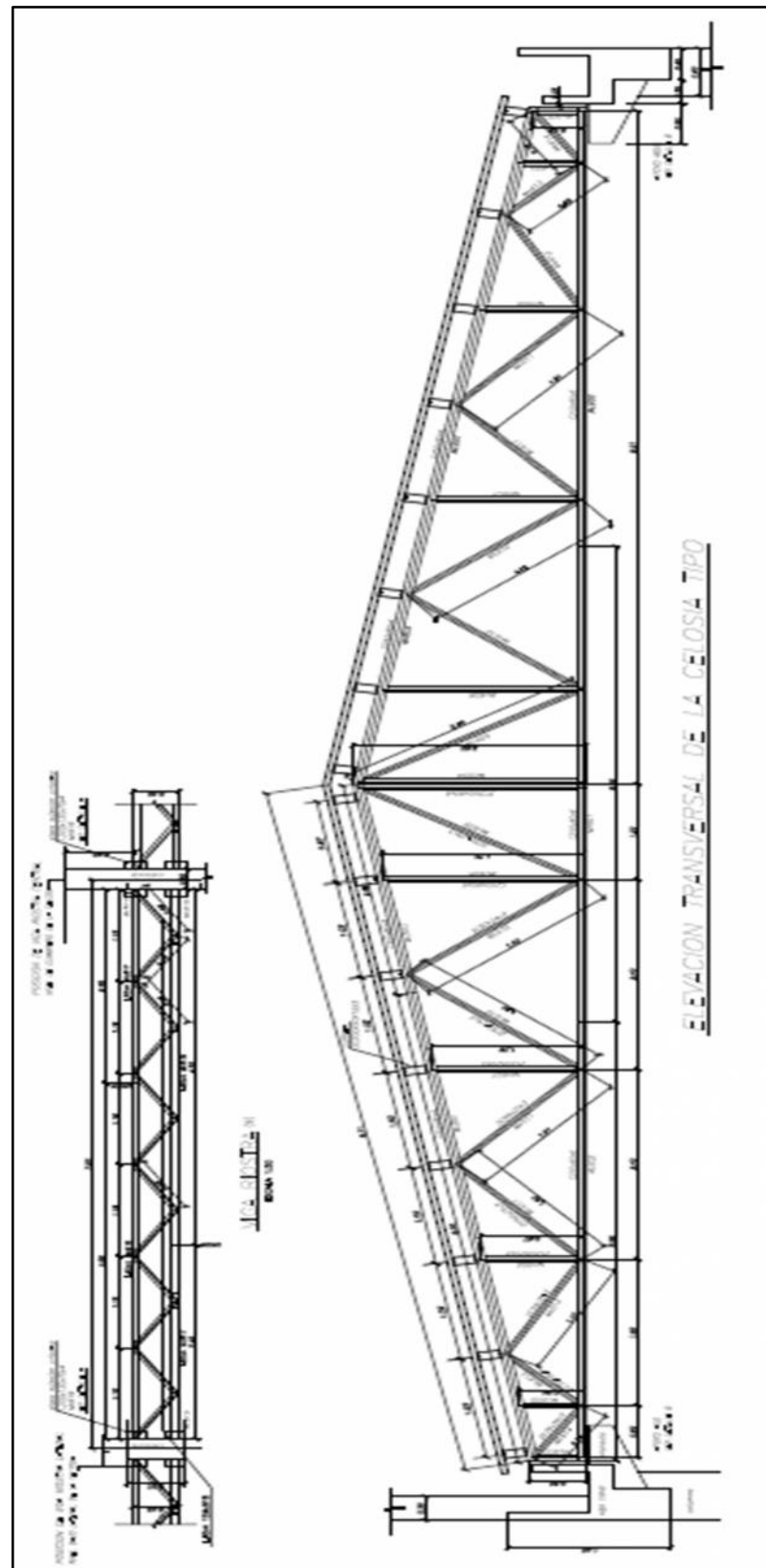


Fig. 3.24 Esquema de la celosía de cubierta del auditorio

3.3. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LOS EDIFICIOS CON AISLACIÓN SÍSMICA

Al comenzar el desarrollo de un proyecto, el ingeniero proyectista debe realizar ciertas elecciones estratégicas considerando una serie de limitaciones, que dependen del tipo de estructura, de la sismicidad y naturaleza geológica del sitio, de la norma vigente y de otros parámetros que inciden. Para el efecto se considerarán recomendaciones en base a las experiencias de la aislación sísmica de edificios diseñados y construidos en otros países. Se detalla entonces a continuación la disposición de los aisladores por cada edificio en estudio:

HALL CENTRAL:

La estructura aislada presenta las mismas características que las mencionadas para la estructura tradicional, la única diferencia es el sistema de aislación, siendo necesario profundizarse en la cota de cimentación 1,20m más; para que con esto se provea de un sistema de acceso a los aisladores, para su inspección y posible cambio según necesidad de la edificación. El sistema de aislación está situado sobre las cadenas de amarre de la cimentación, y sobre los aisladores se construirá las vigas de conexión.

El sistema de aislación consta de 39 aisladores de base; los cuales se disponen de tal manera que se sitúen en los elementos que transmiten la carga de la superestructura a la subestructura, ya sea en columnas o diafragmas si estos fueran necesarios, conectados por vigas de amarre, con los correspondientes pedestales de tope y de apoyo, en los lugares donde sea necesario una mayor área, para la colocación del aislador. El edificio presta las facilidades para la colocación de este tipo de sistema ya que en su parte central tiene una distribución de columnas adecuada que permite el espacio suficiente para la colocación del aislador. En lo que tiene que ver con los aisladores perimetrales la novedad es que en la intersección 12'-N

se deberá colocar un pedestal para que las vigas no se deformen con demasiada y de esta forma ayudar a la aislación integral de la estructura.

Dentro de las posibilidades constructivas y desde el punto de vista de utilidad se trató de ubicar los aisladores de tal forma de evitar y contrarrestar la torsión en el edificio, lo cual se vuelve importante ya que el edificio tiene sus ejes no paralelos en planta lo que nos indica que existe una torsión que se debe controlar.

Para efectos de comparación y de seleccionar la mejor alternativa de aislación se presentará dos casos de aislación, el primero con aisladores tipo HDR y el segundo que incluirá la combinación de dos tipos de aisladores, el HDR y el LRB dispuestos de forma que el LRB por sus características de rigidez inicial se encuentre en la parte perimetral del edificio para ayudar a controlar la torsión y los HDR en la parte céntrica de la estructura.

Los elementos estructurales del edificio como son vigas, columnas, diafragmas y losas sus secciones transversales son inicialmente las mismas que en el modelo tradicional, con esto sabemos que las cuantías de acero de refuerzo serán más bajas y de ser necesario estas secciones se disminuirán conforme a los resultados arrojados por el cálculo en el paquete computacional; de esta manera se economizará en secciones transversales de elementos estructurales. A continuación se muestra una configuración a modo de esquema de la disposición en elevación de lo mencionado así como también la distribución en planta de los aisladores.

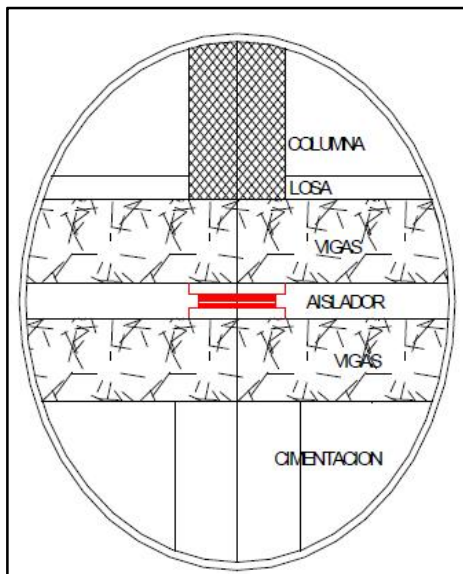


Figura 3.25 Detalle: columna, aislador, cimentación

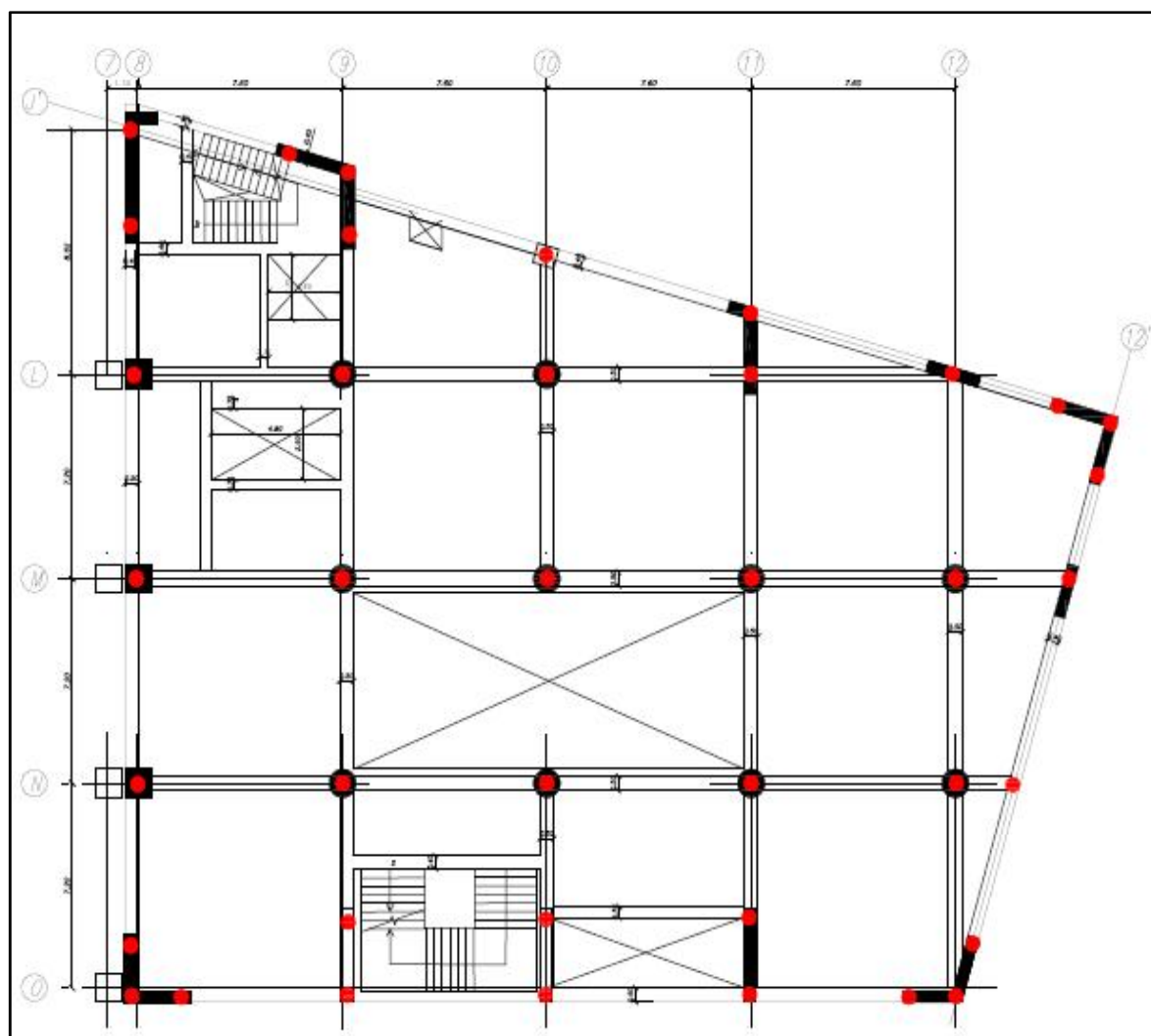


Fig. 3.26 Ubicación de aisladores HDR, Hall Central

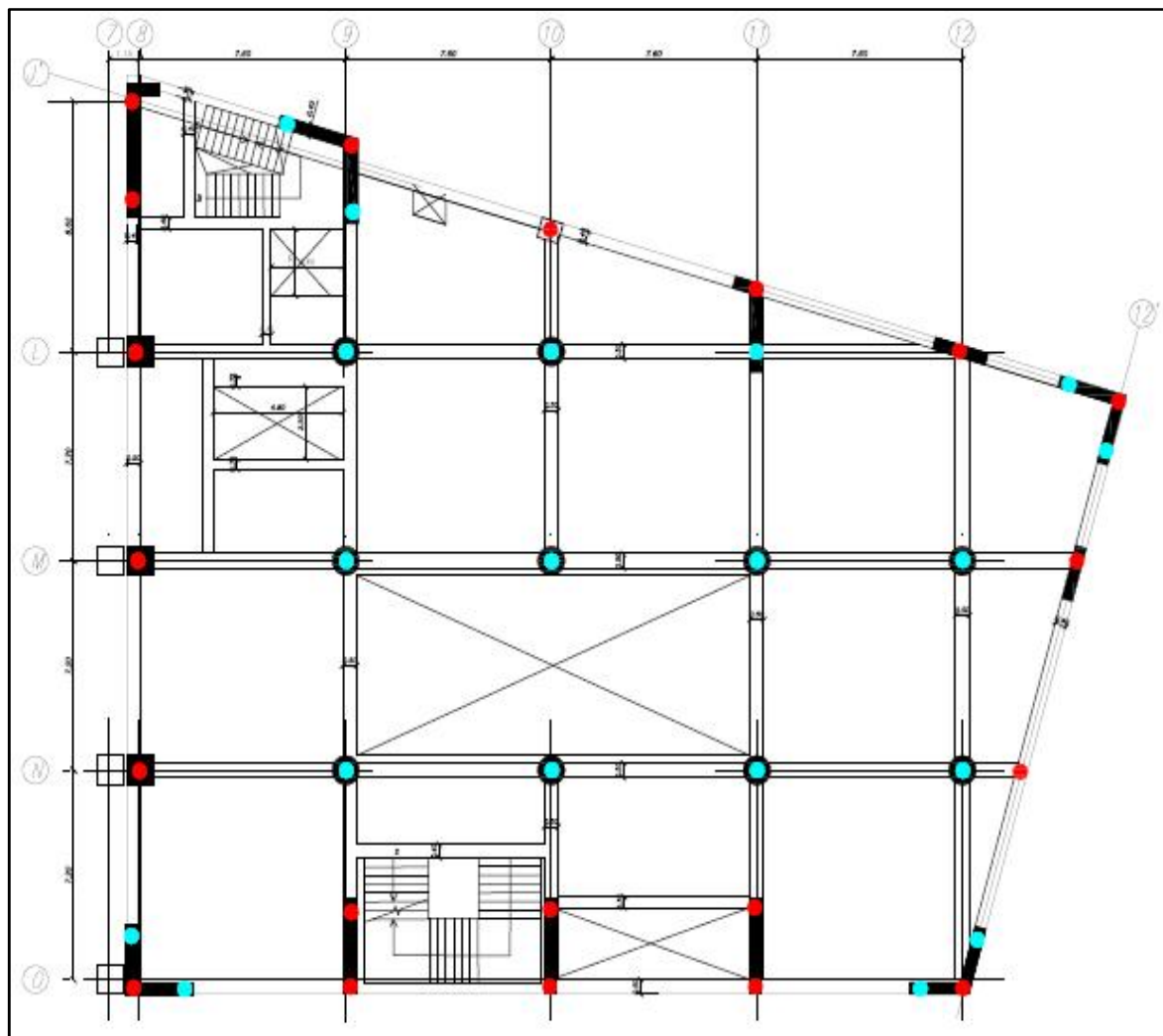


Fig. 3.27 Ubicación de aisladores combinados HDR y LRB, Hall Central

GOBERNANTES:

La estructura aislada presenta las mismas características que las mencionadas para la estructura tradicional, la única diferencia es el sistema de aislación, siendo necesario profundizarse en la cota de cimentación 1,20m más; para que con esto se provea de un sistema de acceso a los aisladores, para su inspección y posible cambio según necesidad de la edificación. El sistema de aislación está situado sobre las cadenas de amarre de la cimentación, y sobre los aisladores se construirá las vigas de conexión.

El sistema de aislación consta de 28 aisladores de base; los cuales se disponen de tal manera que se sitúen en los elementos que transmiten la carga de la superestructura a la subestructura, estos se disponen en las columnas, conectados por vigas de amarre, con los correspondientes pedestales de tope y de apoyo, en los lugares donde sea necesario una mayor área, para la colocación del aislador. El edificio presta las facilidades para la colocación de aisladores ya que es una estructura regular y no presenta irregularidades en planta, es decir sus ejes son totalmente paralelos.

Para efectos de comparación y de seleccionar la mejor alternativa de aislación se presentará dos casos de aislación, el primero con aisladores tipo HDR y el segundo que incluirá la combinación de dos tipos de aisladores, el HDR y el LRB dispuestos de forma que el LRB por sus características de rigidez inicial se encuentre en la parte perimetral del edificio para ayudar a controlar la torsión y los HDR en la parte céntrica de la estructura.

Los elementos estructurales del edificio como son vigas, columnas y losas sus secciones transversales son inicialmente las mismas que en el modelo tradicional, con esto sabemos que las cuantías de acero de refuerzo serán más bajas y de ser necesario estas secciones se disminuirán conforme a los resultados arrojados por el cálculo en el paquete computacional; de esta

manera se economizará es secciones transversales de elementos estructurales. La configuración en elevación es típica, por lo que es necesario se presente la disposición de los aisladores en planta, como sigue:

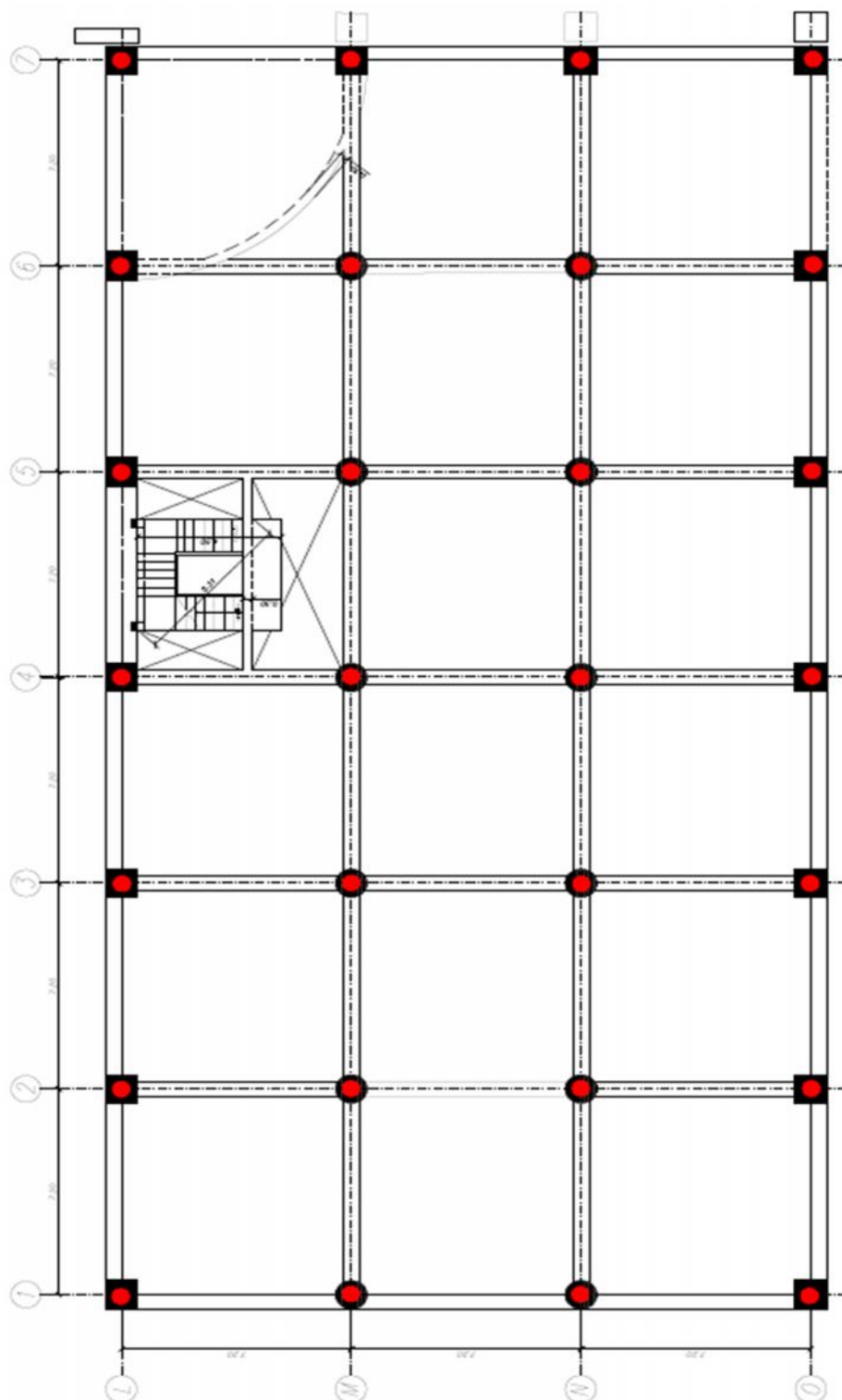


Fig. 3.28 Ubicación de aisladores HDR, Gobernantes

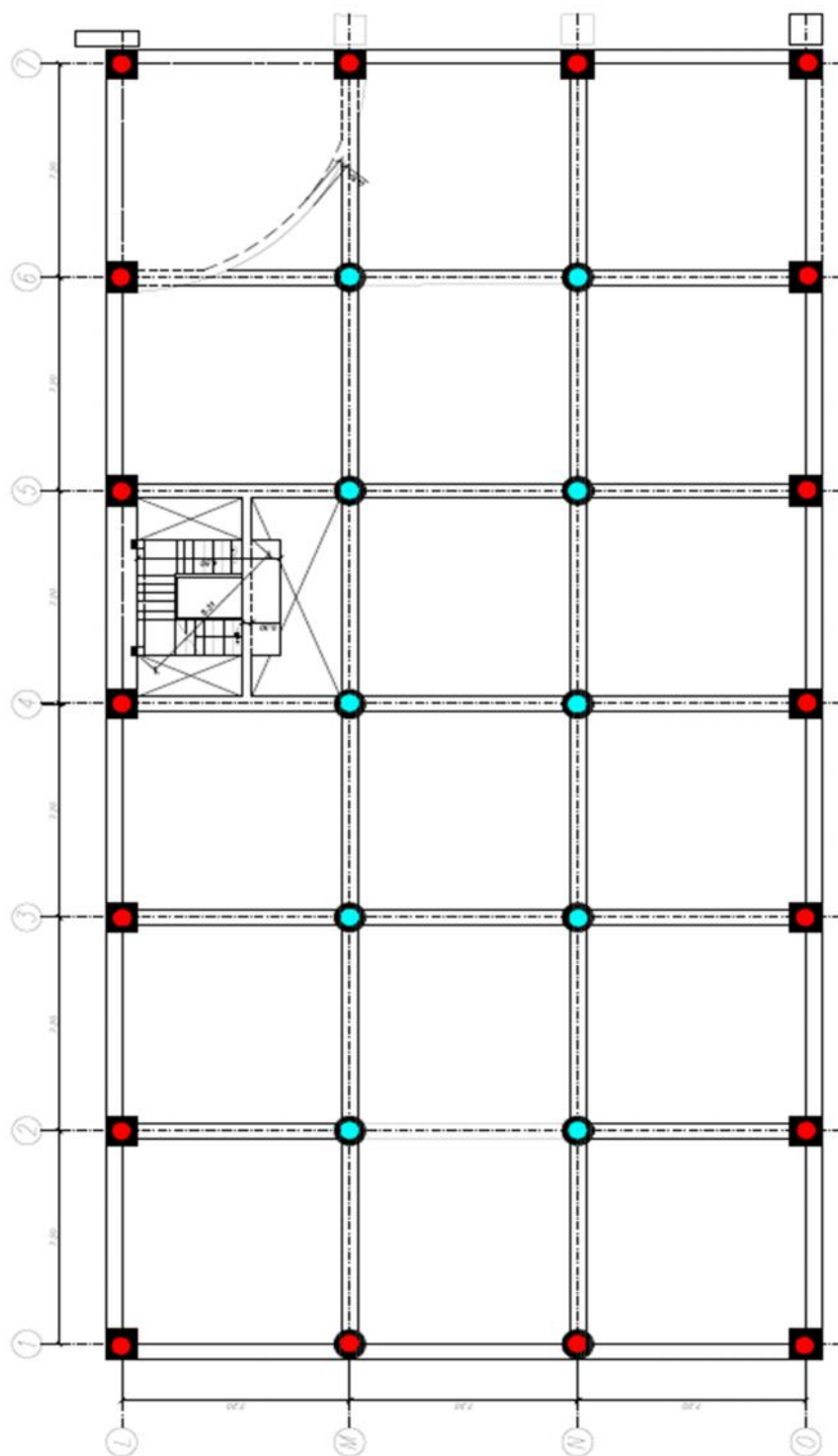


Fig.

3.29

Ubicación de aisladores combinados HDR y LRB, Gobernantes

CONSULTA EXTERNA I Y II

La estructura aislada presenta las mismas características que las mencionadas para la estructura tradicional, la única diferencia es el sistema de aislación, siendo necesario profundizarse en la cota de cimentación 1,20m más; para que con esto se provea de un sistema de acceso a los aisladores, para su inspección y posible cambio según necesidad de la edificación. El sistema de aislación está situado sobre las cadenas de amarre de la cimentación, y sobre los aisladores se construirá las vigas de conexión.

El sistema de aislación de Consulta I consta de 40 aisladores de base; Consulta externa II posee 45 los cuales se disponen de tal manera que se sitúen en los elementos que transmiten la carga de la superestructura a la subestructura, estos se disponen en las columnas, conectados por vigas de amarre, con los correspondientes pedestales de tope y de apoyo, en los lugares donde sea necesario una mayor área, para la colocación del aislador. El edificio presta las facilidades para la colocación de aisladores a pesar de tener irregularidades en la primera planta y losas que no son tipo en su altura.

Para efectos de comparación y de seleccionar la mejor alternativa de aislación se presentará tres casos de aislación, el primer con aisladores tipo HDR y el segundo incluirá la combinación de dos tipos de aisladores, el HDR y el LRB dispuestos de forma que el LRB por sus características de rigidez inicial se encuentre en la parte perimetral del edificio para ayudar a controlar la torsión y los HDR en la parte céntrica de la estructura.

Los elementos estructurales del edificio como son vigas, columnas y losas sus secciones transversales son inicialmente las mismas que en el modelo tradicional, con esto sabemos que las cuantías de acero de refuerzo serán más bajas y de ser necesario estas secciones se disminuirán conforme a los resultados arrojados por el cálculo en el paquete computacional; de esta

manera se economizará es secciones transversales de elementos estructurales. La configuración en elevación es típica, por lo que es necesario se presente la disposición de los aisladores en planta, como sigue:

Cabe mencionar que con la gama de edificios y las diferentes disposiciones y tipos de aisladores se planea determinar cuál es la condición estructural más favorable para cada edificación.

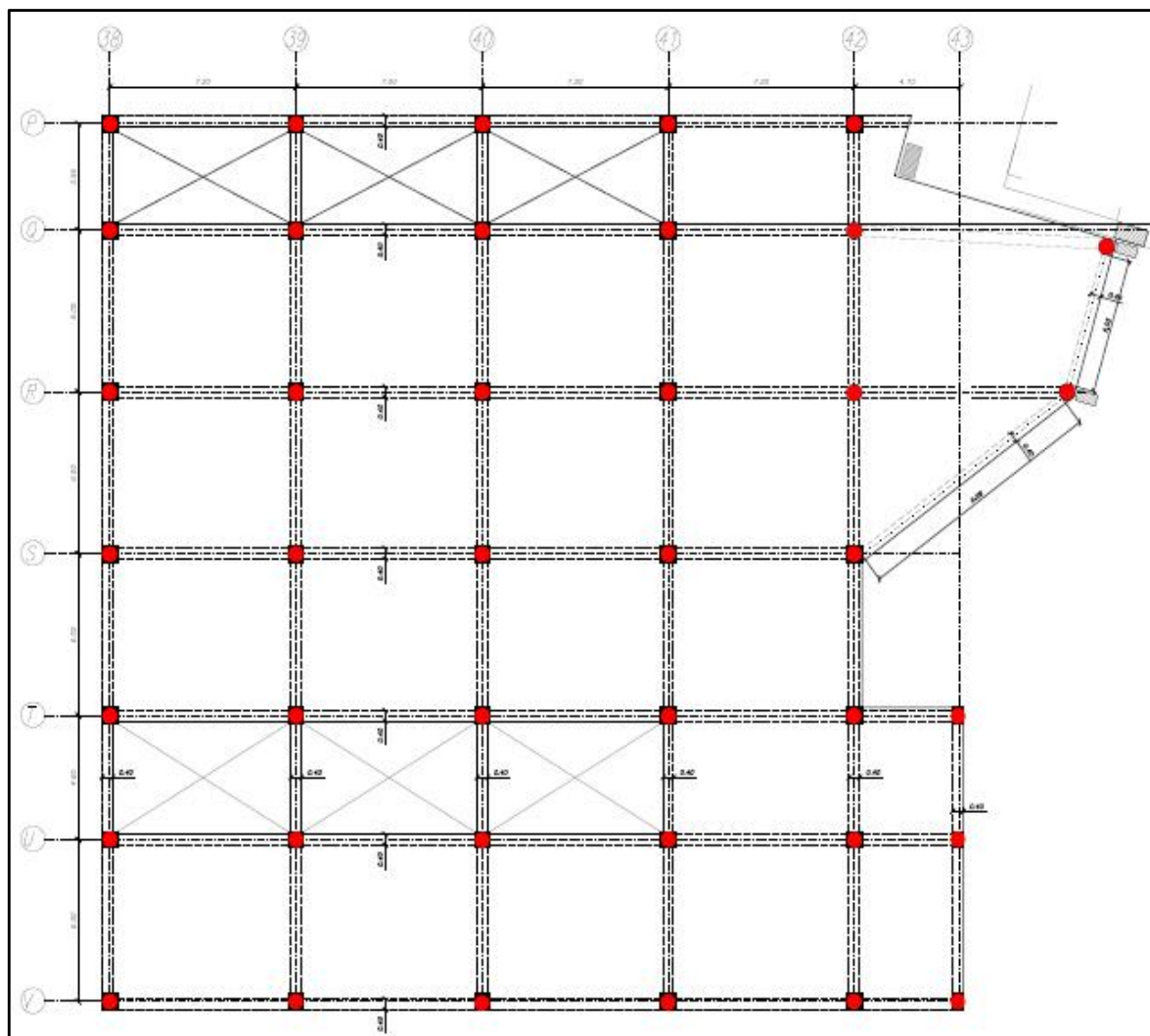


Fig. 3.30 Ubicación de aisladores HDR, Consulta Externa I

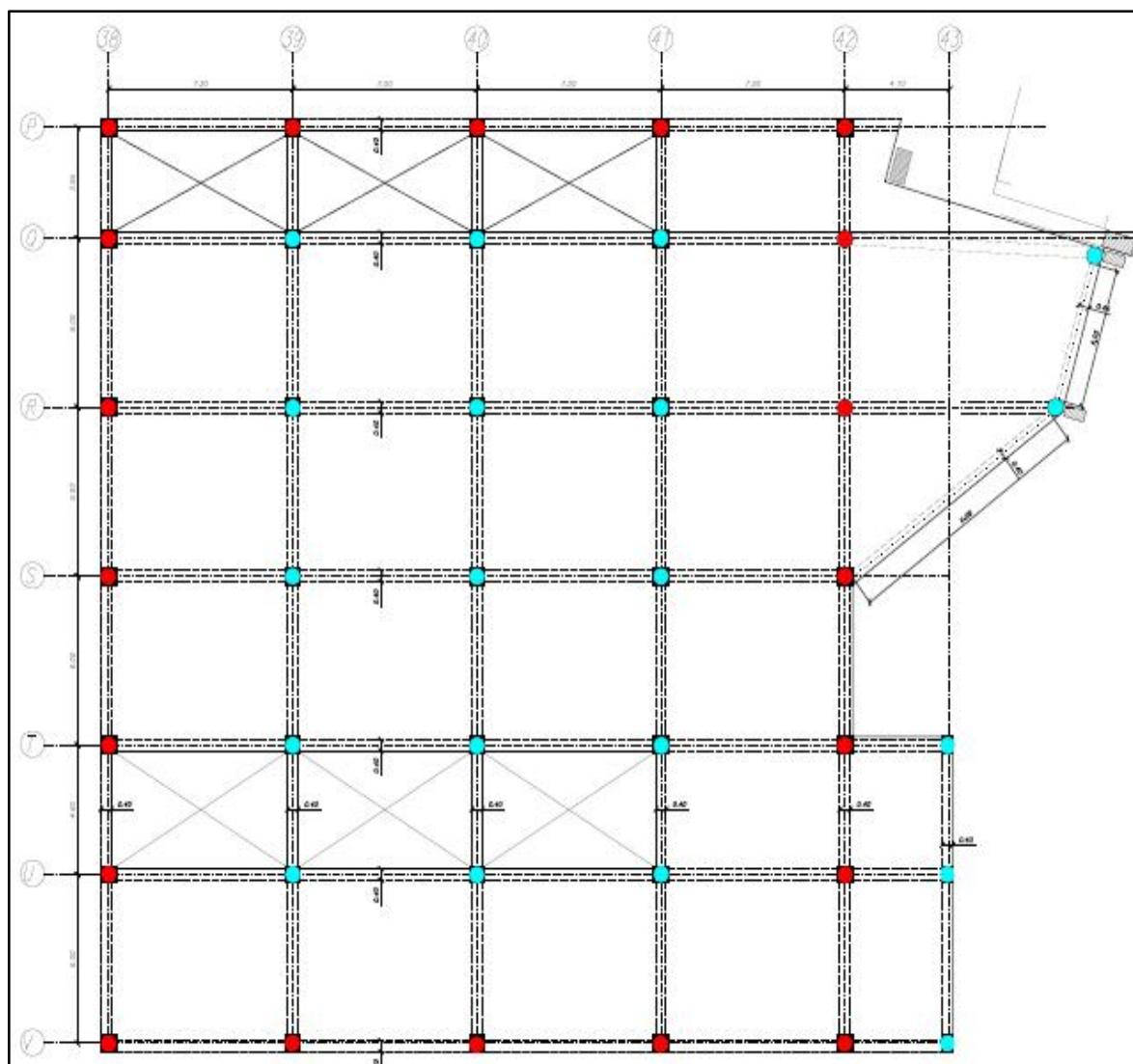


Fig. 3.31 Ubicación de aisladores combinados HDR y LBR, Consulta Externa I

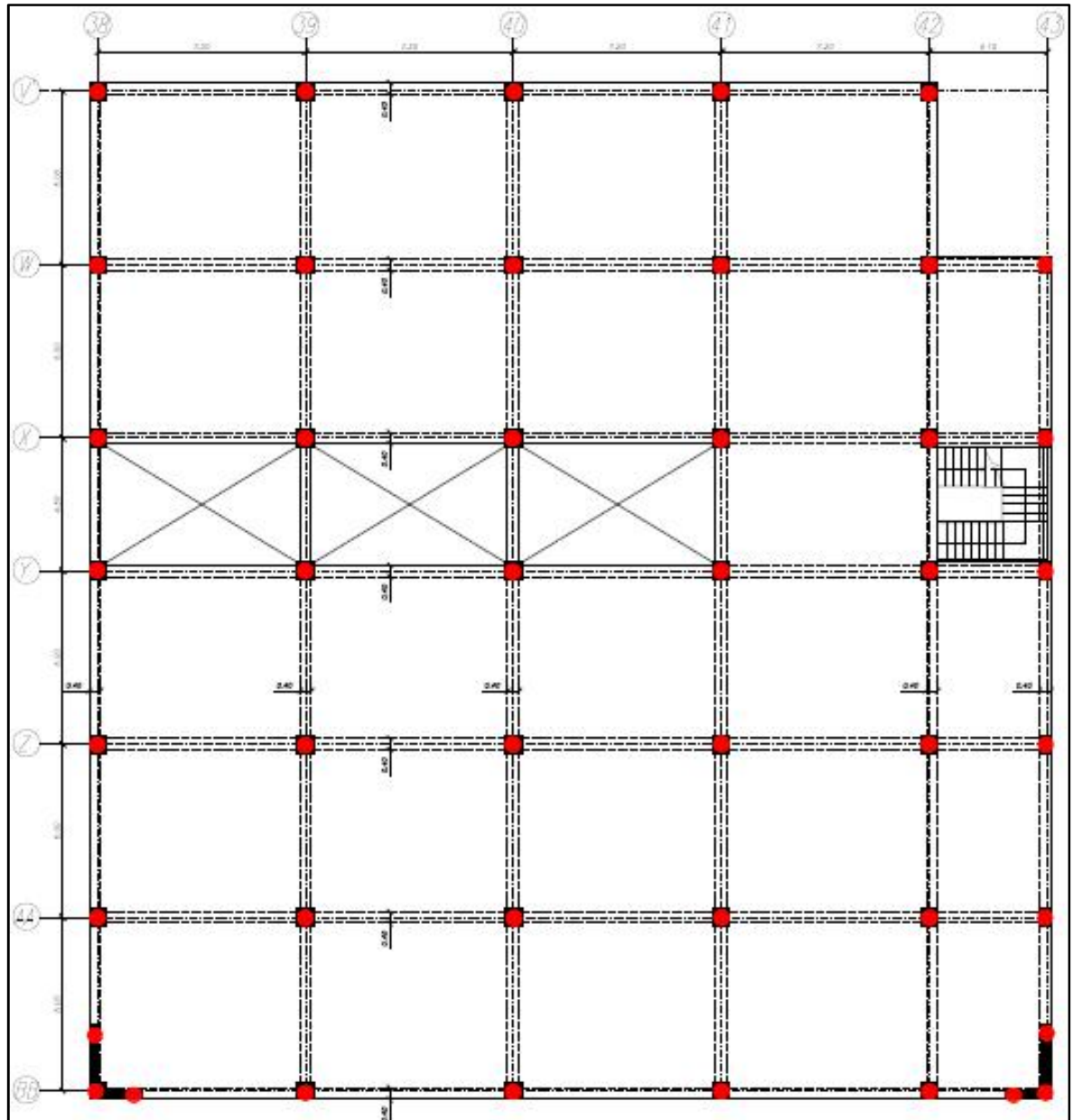


Fig. 3.32 Colocación de aisladores HDR, Consulta Externa II

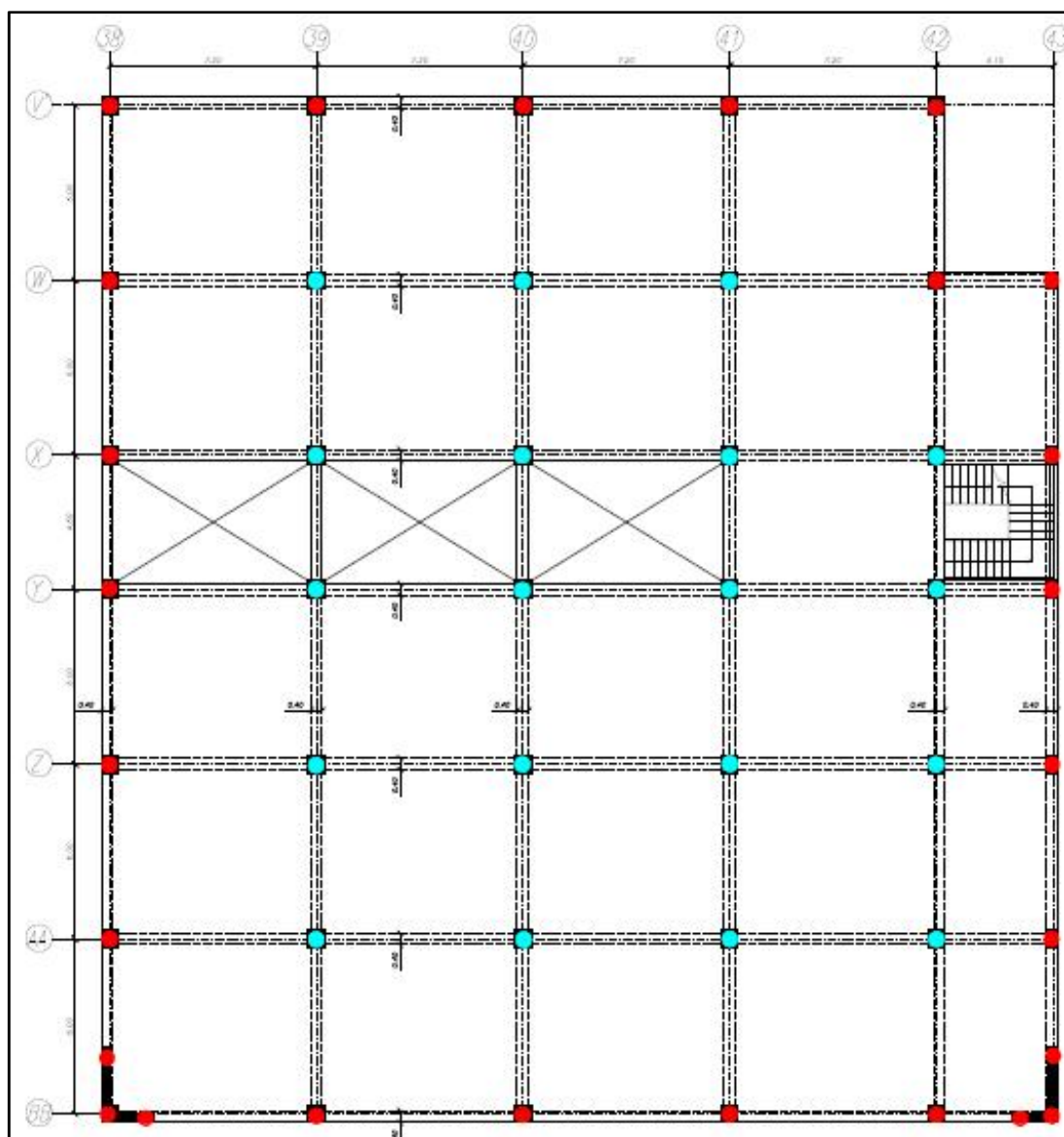


Fig. 3.33 Colocación de aisladores combinados HDR y LRB, Consulta Externa II

3.4. PRE-DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LOS EDIFICIOS

Se procederá a dar un pre-dimensionamiento a los elementos estructurales de los edificios:

HALL CENTRAL

PRE-DIMENSIONAMIENTO DE LOSA

Tablero crítico:

L= 7,6 m
S= 7,2 m
m= 0,947 refuerzo en dos direcciones

Espesor de losa t

t= $\frac{ln}{33}$ Código ACI-318 tabla 9,5©

t= $\frac{7,6}{33}$

t= 0,23 m

t= $\frac{\text{perímetro}}{150}$

t= $\frac{29,6}{150}$

t= 0,197 m

Escogemos el crítico, sumamos el recubrimiento y redondeamos a múltiplo de 5 cm

t= 23 + 5

t= 28 cm

t= 30 cm

PRE-DIMENSIONAMIENTO DE VIGA

Peso de losa por 2,25m²

elem.	vol.	peso esp.	peso/m ²
loseta	0,113	2,4	0,27
nervios	0,203	2,4	0,486

aliv.	0,08	0,025	0,002
suma			0,758

PPL= 0,337 t/m²

PPVigas= 0,33 t/m²

Tabla.3.1 Pre-dimensionamiento de viga, Hall Central

Cargas por niveles:

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

CALCULO DE CARGAS		
EDIFICIO:	HALL PRINCIPAL	
NIELES:	N+3,96m; N+7,92m; N+11,88m; N+15,84m; 19,80m; N+23,76m	

DEPENDENCIA Y TIPO	LONGITUD	ALTURA	ESPESOR	AREA LOSA	PESO UNIT	CARGA	
C. MUERTA ADICIONAL	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m)
Área de oficinas y servicios							
Recubrimiento de piso			0,04	1,00	2,10	0,084	
Paredes intermedias	50,00	3,66	0,20	200,00	1,40	0,256	
SUMA						0,340	
CARGA VIVA						0,250	
Área de circulación							
Recubrimiento de piso			0,05	1	2,1	0,105	
CARGA VIVA						0,500	
Pared sobre viga	1,00	3,16	0,20		1,40		0,885
Peso de losa				901,10		0,337	
Peso de vigas						0,330	
D						1,035	
L						0,500	
100%D+100%L						1,535	
100%D+25%L						1,160	

EDIFICIO:	HALL PRINCIPAL
NIELES:	N+27,72m; N+30,72m

DEPENDENCIA Y TIPO	LONGITUD	ALTURA	ESPESOR	AREA LOSA	PESO UNIT	CARGA	
C. MUERTA ADICIONAL	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m)
Cubierta							
Recubrimiento de piso			0,05	1,00	2,00	0,100	
Paredes perimetral	1,00	0,70	0,20		1,40		0,196
CARGA VIVA						0,200	
Tapagrada							
Recubrimiento de piso			0,05	1	2	0,100	
CARGA VIVA						0,100	
Peso de losa				901,10		0,337	
Peso de vigas						0,330	
D						0,769	
L						0,200	
100%D+100%L						0,969	
100%D+25%L						0,819	

Tabla.3.2 Cálculo de cargas N+ 7.92, 11.88, 15.84, 19.80, 23.76, 27.72, 30.72; Hall Central

$$f'c = 280 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

$$fy = 4200 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$W \text{ (max)} = 1.535 \text{ (T/m}^2\text{) D+L}$$

$$\text{Ancho coop.} = 7.6 \text{ m}$$

$$q \text{ (T/m)} = \text{Ancho coop.} * W$$

$$q \text{ (T/m)} = 11.67$$

Ecuaciones Última Resistencia:

$$M_l = \frac{q * l^2}{10} \quad (\text{Ec 3.1})$$

$$d = \sqrt{\frac{Mu}{\phi * b * Ru}} \quad (\text{Ec3.2})$$

b	d	h	h/b
30	77,23	85,0	2,833
35	71,50	80,0	2,286
40	66,88	75,0	1,875
45	63,06	70,0	1,556
50	59,82	70,0	1,4
55	57,04	65,0	1,182

PRE-DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS VERTICALES:

CUADRO DE AREAS Y PESOS ACUMULADO 100%D+100%L					
COLUMNA	LOSA TIPO	TERRAZA	TAPAGRADA	P (Ton)	TIPO
J'8 diaf	22,06	22,06	21,87	242,89	VI*
J'9 diaf	35,35	35,35	27,27	382,63	VII*
J'10	20,18	20,18	0,00	205,46	IV*
J'11 diaf	42,71	42,71	0,00	434,71	XI*
J'12 diaf	25,67	25,67	0,00	261,25	X*
J'12'diaf	13,01	13,01	0,00	132,42	VIII
L8	25,00	25,00	28,62	278,38	III*
L9	32,44	32,44	28,34	353,89	II*
L10	39,95	39,95	0,00	406,69	I
M8	30,15	30,15	0,00	306,89	V*
M9	43,33	43,33	0,00	441,10	I*

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

M10	30,49	30,49	0,00	310,32	I
M11	43,23	43,23	0,00	440,07	I
M12	43,03	43,03	0,00	438,01	I
M12'diaf	8,89	8,89	0,00	90,46	X
N8	25,41	25,41	0,00	258,62	V
N9	35,22	35,22	0,00	358,46	I
N10	21,87	21,87	0,00	222,57	I
N11	34,80	34,80	0,00	354,21	I
N12	38,31	38,31	0,00	389,96	I
O8 diaf	27,34	27,34	0,00	278,31	VIII*
O9 diaf	33,20	18,37	0,00	323,58	IX*
O10 diaf	28,21	13,38	0,00	272,82	IX
O11 diaf	22,25	22,25	0,00	226,49	IX
O12 diaf	17,76	17,76	0,00	180,80	XII*
SUMA	739,85	710,19	106,10	7590,98	

Tabla 3.3. Cuadros de áreas y pesos acumulados, Hall Central

Secciones de hormigón:

$$A_g = \frac{P}{0.21 \cdot f'_c + 0.34 \cdot \rho \cdot f_y} \quad \text{Dónde:} \quad (\text{Ec 3.3})$$

Ag: sección bruta de hormigón

P: carga axial

f'c: resistencia del hormigón a los 28 días

: cuantía de acero

fy: límite de fluencia del acero de refuerzo

1% = flexo-compresión (columnas)

0.2% = muros de corte (diafragmas)

Quedando así las ecuaciones del pre-diseño con f'c=28 MPa y fy=420 MPa.

$$A_g = \frac{P}{73.08}, \quad \text{para columnas y} \quad (\text{Ec 3.4})$$

$$A_g = \frac{P}{61.656}, \quad (\text{Ec.3.5}) \quad \text{para diafragmas, donde P debe estar en kg y Ag en cm}^2$$

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

CUADRO DE PRE-DISEÑO													
NIVEL	TIPO	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
33,72	P		23,720 6	23,954 9			18,305 2	22,825					
	Ag		324,58 4	327,79 1			250,48 2	312,32 9					
27,72	b/h ó		100	100			40/440	40/690					
27,72	P	41,990 6	55,151 1	48,175 1	19,559	29,214 7	39,684 7	57,076 5	26,494 4	17,800 9	24,869 7	41,383	17,211 7
	Ag	574,58 3	754,66 8	659,21 1	267,63 9	399,76 3	643,64 7	925,72 6	429,71 3	288,71 3	403,36 2	671,19 2	279,15 8
23,76	b/h ó	100	100	100/100	70/80	100/100	40/440	40/690	40/420	40/330	40/190	40/460	40/520
23,76	P	108,50 8	104,94 1	86,542 5	50,542 7	75,493 9	73,552 1	111,33 5	68,464 3	68,763 4	64,265 9	106,93 8	44,477
	Ag	1484,7 9	1435,9 7	1184,2 2	691,60 8	1033,0 3	1192,9 4	1805,7 4	1110,4 2	1115,2 8	1042,3 3	1734,4 3	721,37 4
19,8	b/h ó	100	100	100/100	70/80	100/100	40/440	40/690	40/420	40/330	40/190	40/460	40/520
19,8	P	175,02 6	154,73	124,91	81,526 3	121,77 3	107,42	165,59 3	110,43 4	119,72 6	103,66 2	172,49 3	71,742 3
	Ag	2394,9 9	2117,2 7	1709,2 2	1115,5 8	1666,3	1742,2 4	2685,7 5	1791,1 3	1941,8 4	1681,3	2797,6 7	1163,5 9
15,84	b/h ó	100	100	100/100	70/80	100/100	40/440	40/690	40/420	40/330	40/190	40/460	40/520
15,84	P	241,54 3	204,51 9	163,27 7	112,51	168,05 2	141,28 7	219,85 1	152,40 4	170,68 9	143,05 8	238,04 8	99,007 5

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

11,88	Ag	3305,1 9	2798,5 7	2234,2 3	1539,5 4	2299,5 7	2291,5 4	3565,7 7	2471,8 5	2768,4	2320,2 7	3860,9 1	1605,8 1
	b/h ó	100	100	100/10 0	70/80	100/10 0	40/440	40/690	40/420	40/330	40/190	40/460	40/520
11,88	P	308,06 1	254,30 9	201,64 5	143,49 4	214,33 1	175,15 4	274,10 9	194,37 4	221,65 1	182,45 5	303,60 4	126,27 3
	Ag	4215,3 9	3479,8 7	2759,2 3	1963,5 1	2932,8 3	2840,8 3	4445,7 8	3152,5 6	3594,9 6	2959,2 3	4924,1 5	2048,0 2
7,92	b/h ó	100	100	100/10 0	70/80	100/10 0	40/440	40/690	40/420	40/330	40/190	40/460	40/520
7,92	P	374,57 8	304,09 8	240,01 2	174,47 7	260,61 1	209,02 2	328,36 7	236,34 4	272,61 4	221,85 1	369,15 9	153,53 8
	Ag	5125,5 9	4161,1 7	3284,2 4	2387,4 8	3566,1	3390,1 3	5325,8	3833,2 7	4421,5 3	3598,2	5987,3 9	2490,2 4
3,96	b/h ó	100	100	100/10 0	70/80	100/10 0	40/440	40/690	40/420	40/330	40/190	40/460	40/520
3,96	P	441,09 6	353,88 7	278,37 9	205,46 1	306,89	242,88 9	382,62 5	278,31 4	323,57 6	261,24 7	434,71 4	180,80 3
	Ag	6035,7 9	4842,4 7	3809,2 4	2811,4 5	4199,3 7	3939,4 3	6205,8 1	4513,9 8	5248,0 9	4237,1 7	7050,6 3	2932,4 5
cim	b/h ó	100	100	100/10 0	70/80	100/10 0	40/440	40/690	40/420	40/330	40/190	40/460	40/520

Tabla 3.4 Cuadro de pre-diseño, Hall Central

EDIFICIO GOBERNANTES

Pre-dimensionamiento de losa:

PRE-DIMENSIONAMIENTO DE LOSA

Tablero crítico:

$$L = 7,2 \text{ m}$$

$$S = 7,2 \text{ m}$$

$$m = 1 \text{ refuerzo en dos direcciones}$$

Espesor de losa t

$$t = \frac{ln}{33} \text{ Código ACI-318 tabla 9,5©}$$

$$t = \frac{7,2}{33}$$

$$t = 0,218 \text{ m}$$

$$t = \frac{\text{perímetro}}{150}$$

$$t = \frac{28,8}{150}$$

$$t = 0,192 \text{ m}$$

Escogemos el crítico, sumamos el recubrimiento
y redondeamos a múltiplo de 5 cm

$$t = 22 + 5$$

$$t = 27 \text{ cm}$$

$$\mathbf{t = 30 \text{ cm}}$$

Pre-dimensionamiento de vigas.

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

Peso de losa por 2,25 m²

elem.	vol.	Peso esp.	peso/m ²
loseta	0,113	2,4	0,27
nervios	0,203	2,4	0,486
aliv.	0,08	0,025	0,002
suma			0,758

Tabla 3.5 Pre-dimensionamiento de vigas/ Gober.

PPL= 0,337 t/m²
Peso de vigas por m²:

Longitud de vigas= 335m

Área de losa= 896.22 m²

PPvigas=(335*0.50*0.75)/896.22 =0.336 ton/m²

Análisis de cargas por niveles:

CÁLCULO DE CARGAS								
	EDIFICIO:	GOBERNANTES						
	NIELES:	N+3,96m						
DEPENDENCIA Y TIPO		LONGITUD	ALTURA	ESPESOR	AREA LOSA	PESO UNIT	CARGA	
C. MUERTA ADICIONAL		(m)	(m)	(m)	(m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m)
En este piso no existe losa de entrepiso, pero las vigas se cruzan en los dos sentidos								
Carga sobre viga							0,068	0,2
Peso de losa							0,00	
Peso de vigas							0,34	
D							0,408	
L							0,10	
100%D+100%L							0,51	
100%D+25%L							0,43	

Tabla 3.6. Cálculo de cargas nivel+3.96m, Gobernantes

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

EDIFICIO:		GOBERNANTES					
NIELES:		N+7,92m					
DEPENDENCIA Y TIPO	LONGITUD	ALTURA	ESPESOR	AREA LOSA	PESO UNIT	CARGA	
C. MUERTA ADICIONAL	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m)
Área destinada para los archivos del hospital, no existen paredes intermedias; la fachada tiene ventanas y se considera el 50% para paredes perimetrales							
Recubrimiento de piso			0,04	1,00	2,10	0,084	
Pared sobre viga	1,00	3,21	0,10		1,40	0,033	0,45
CARGA VIVA							
Archivadores						0,500	
Circulación						0,500	
Peso de losa						0,34	
Peso de vigas						0,34	
D						0,794	
L						0,50	
100%D+100%L						1,29	
100%D+25%L						0,92	

Tabla3.7 Cálculo de cargas nivel+7.92m, Gobernantes

EDIFICIO:		GOBERNANTES					
NIELES:		N+11,88m; N+15,84m					
DEPENDENCIA Y TIPO	LONGITUD	ALTURA	ESPESOR	AREA LOSA	PESO UNIT	CARGA	
C. MUERTA ADICIONAL	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m)
Pisos con oficinas administrativas, las divisiones son de 10 cm, paredes perimetrales son 50% de la fachada							
Recubrimiento de piso			0,04	1,00	2,10	0,084	
Paredes intermedias	260,00	3,66	0,10	965,00	1,40	0,138	
Suma						0,222	
Pared sobre viga	1,00	3,21	0,10		1,40	0,033	0,45
CARGA VIVA							
Área oficinas						0,25	
Circulacion						0,500	
Peso de losa						0,34	
Peso de vigas						0,34	
D						0,933	
L						0,50	
100%D+100%L						1,43	
100%D+25%L						1,06	

Tabla3.8 Cálculo de cargas nivel+11,88;15,84m, Gobernantes

EDIFICIO:		GOBERNANTES					
NIELES:		N+19,80m (cubierta)					
DEPENDENCIA Y TIPO	LONGITUD	ALTURA	ESPESOR	AREA LOSA	PESO UNIT	CARGA	
C. MUERTA ADICIONAL	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m)
Recubrimiento de piso			0,05	1,00	2,10	0,105	
Paredes perimetral	1,00	3,21	0,10		1,40	0,033	0,45
CARGA VIVA						0,200	
Peso de losa						0,34	
Peso de vigas						0,07	
D						0,545	
L						0,20	
100%D+100%L						0,75	
100%D+25%L						0,60	

Tabla 3.9 Cálculo de cargas nivel+19,80m, Gobernantes

EDIFICIO:		GOBERNANTES					
NIELES:		N+23,76m (tapagrada)					
DEPENDENCIA Y TIPO	LONGITUD	ALTURA	ESPESOR	AREA LOSA	PESO UNIT	CARGA	
C. MUERTA ADICIONAL	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m)
Recubrimiento de piso			0,04	1,00	2,10	0,084	
CARGA VIVA						0,100	
Peso de losa						0,34	
Peso de vigas						0,13	
D						0,551	
L						0,10	
100%D+100%L						0,65	
100%D+25%L						0,58	

Tabla 3.10 Cálculo de cargas nivel+23,96m, Gobernantes

Dadas las siguientes propiedades de los materiales:

$$f'c = 280 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

$$fy = 4200 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$W \text{ (max)} = 1.43 \text{ (T/m}^2\text{)} \quad D+L$$

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

Ancho coop. = 7.2 m

$q \text{ (T/m)} = \text{Ancho coop.} * W$

$q \text{ (T/m)} = 10.296$

Ecuaciones Última Resistencia:

$$M_l = \frac{q * l^2}{10} \quad (\text{Ec.3.6})$$

$$d = \sqrt{\frac{M_u}{\phi * b * R_u}} \quad (\text{Ec.3.7})$$

Entonces:

$M_u = 10,3 \text{ t/m}^2$

b	d	h	h/b
30	72,56	85,0	2,83
35	67,17	75,0	2,14
40	62,84	75,0	1,88
45	59,24	70,0	1,56
50	56,20	70,0	1,40
55	53,59	65,0	1,18

PRE-DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS VERTICALES:

CUADRO DE AREAS Y PESOS ACUMULADO 100%D+100%L								
COLUMNA	N+3,96	N+7,92	N+11,88	N+15,84	N+19,80 (terrazza)	N+23,76 (tapagrada)	P (Ton)	TIPO
L1	17,28	17,28	19,16	23,05	28,83	3,10	115,51	I
L2	29,78	29,78	29,78	29,78	29,78	3,10	163,51	I
L3	29,78	29,78	29,78	29,78	29,78	3,10	163,51	I
L4	20,19	20,19	20,19	20,19	20,19	15,42	121,27	I
L5	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09	15,42	120,74	I
L6	29,79	29,79	29,79	29,79	29,79	3,10	163,56	I*
L7	17,51	17,51	17,51	17,51	17,51	1,60	95,98	IV
M1	29,79	29,79	33,55	41,53	53,28	3,10	203,35	II*
M2	40,81	40,81	40,81	40,81	40,81		220,78	III
M3	40,81	40,81	40,81	40,81	40,81		220,78	III
M4	51,03	51,03	51,03	51,03	51,03		276,07	III
M5	40,81	40,81	40,81	40,81	40,81		220,78	III
M6	40,81	40,81	40,81	40,81	40,81		220,78	III

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

M7	29,79	29,79	29,79	29,79	29,79	3,10	163,56	IV*
N1	29,79	29,79	33,55	41,53	53,28	3,10	203,35	II
N2	40,80	40,80	40,80	40,80	40,80		220,71	III
N3	40,80	40,80	40,80	40,80	40,80		220,71	III
N4	51,75	51,75	51,75	51,75	51,75		279,95	III*
N5	40,81	40,81	40,81	40,81	40,81		220,78	III
N6	40,80	40,80	40,80	40,80	40,80		220,73	III
N7	29,79	29,79	29,79	29,79	29,79	3,10	163,56	IV
O1	17,28	17,28	19,16	23,05	28,83	3,10	115,51	I
O2	29,78	29,78	29,78	29,78	29,78	3,10	163,51	I
O3	29,78	29,78	29,78	29,78	29,78	3,10	163,51	I
O4	29,78	29,78	29,78	29,78	29,78	3,10	163,51	I
O5	29,78	29,78	29,78	29,78	29,78	3,10	163,51	I
O6	29,78	29,78	29,78	29,78	29,78	3,10	163,51	I
O7	17,28	17,28	17,28	17,28	17,28	1,60	94,73	IV
SUMA	896,22	896,22	907,50	931,26	966,30	77,44	5027,75	

Tabla 3.11 Cuadro de Áreas y pesos acumulados, Gobernantes

Secciones de hormigón:

$$A_g = \frac{P}{0.21*f'c + 0.34*\rho*fy} \quad \text{Dónde:} \quad (\text{Ec.3.8})$$

Ag: sección bruta de hormigón

P: carga axial

f'c: resistencia del hormigón a los 28 días

: cuantía de acero

fy: límite de fluencia del acero de refuerzo

1% = flexo-compresión (columnas)

0.2% = muros de corte (diafragmas)

Quedando así las ecuaciones del pre-diseño con $f'c=28$ MPa y $f_y=420$ MPa.

$$A_g = \frac{P}{73.08}, \text{ para columnas } y \quad (\text{Ec.3.9})$$

$$A_g = \frac{P}{61.656}, (\text{Ec.3.10}) \text{ para diafragmas, donde } P \text{ debe estar en kg y } A_g \text{ en cm}^2$$

CUADRO DE PRE-DISEÑO					
NIVEL	TIPO	I	II	III	IV
23,76	P	2,418	2,418	0	2,418
	Ag	33,09	33,09	0,00	33,09
19,80	b/h ó	100/100	90	0	100/100
19,80	P	24,76	42,38	38,81	24,76
	Ag	338,78	579,87	531,06	338,78
15,84	b/h ó	100/100	90	90	100/100
15,84	P	67,35	101,77	112,81	67,35
	Ag	921,62	1392,56	1543,62	921,62
11,88	b/h ó	100/100	90	90	100/100
11,88	P	109,95	149,74	186,81	109,95
	Ag	1504,47	2048,98	2556,18	1504,47
7,92	b/h ó	100/100	90	90	100/100
7,92	P	148,37	188,16	253,56	148,37
	Ag	2030,26	2574,76	3469,61	2030,26
3,96	b/h ó	100/100	90	90	100/100
3,96	P	163,56	203,35	279,95	163,56
	Ag	2238,12	2782,63	3830,73	2238,12
cim	b/h ó	100/100	90	90	100/100

Tabla 3.12 Cuadro Pre-diseño, Gobernantes

EDIFICIO: CONSULTA EXTERNA UNO (CAFETERÍA)

PRE-DIMENSIONAMIENTO DE
LOSA
Tablero
crítico:

$$L = 7,2 \text{ m}$$

$$S = 6,0 \text{ m}$$

$$m = 0,833 \text{ refuerzo en dos direcciones}$$

Espesor de losa t

$$t = \frac{\ln \text{ Código ACI-318 tabla } 9,5\text{©}}{33}$$

$$t = \frac{7,2}{33}$$

$$t = 0,218 \text{ m}$$

$$t = \frac{\text{perímetro}}{150}$$

$$t = \frac{26,4}{150}$$

$$t = 0,176 \text{ m}$$

Escogemos el crítico, sumamos el
recubrimiento
y redondeamos a múltiplo de 5
cm:

$$t = 22 + 5$$

$$t = 27 \text{ cm}$$

$$t = 30 \text{ cm}$$

PRE-DIMENSIONAMIENTO DE VIGA

Peso de losa por 2,25m²

elem.	vol.	peso esp.	peso/m ²
loseta	0,113	2,4	0,27
nervios	0,203	2,4	0,486
aliv.	0,08	0,025	0,002
suma			0,758

Tabla3.13 Pre-dimensionamiento de viga, Cons. Externa I

$$PPL = 0,337 \text{ t/m}^2$$

Peso de vigas por m²:

Longitud de vigas= 350.8m

Área de losa= 825.75 m²

$$PP_{vigas} = (335 \cdot 0.5 \cdot 0.70) / 896.22 = 0.40 \text{ ton/m}^2$$

Análisis de cargas por niveles:

CALCULO DE CARGAS							
	EDIFICIO:	CONSULTA EXTERNA 1					
	NIELES:	N+3,96m					
DEPENDENCIA Y TIPO	LONGITUD	ALTURA	ESPESOR	AREA LOSA	PESO UNIT	CARGA	
C. MUERTA ADICIONAL	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m)
Recubrimiento de piso			0,04	1,00	2,10	0,084	
Paredes intermedias	84,00	3,66	0,20	900	1,40	0,096	
suma						0,180	
Pared sobre viga	1,00	3,26	0,20		1,40	0,2	0,913
C. VIVA OFICINAS-SALA						0,25	
C. viva circulacion						0,50	
Peso de losa						0,34	
Peso de vigas						0,40	
D						1,12	
L						0,50	
100%D+100%L						1,62	
100%D+25%L						1,24	
	EDIFICIO:	CONSULTA EXTERNA 1					
	NIELES:	N+7,92m					
DEPENDENCIA Y TIPO	LONGITUD	ALTURA	ESPESOR	AREA LOSA	PESO UNIT	CARGA	
C. MUERTA ADICIONAL	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(t/m ²)	(t/m ²)	(t/m)
Recubrimiento de piso			0,04	1,00	2,10	0,084	
Paredes intermedias	59	3,66	0,20	800,00	1,40	0,076	
suma						0,160	
Pared sobre viga	1,00	3,26	0,20		1,40	0,200	0,913
CARGA VIVA							
cafeteria-aulas						0,400	
Circulación						0,500	
Peso de losa						0,34	
Peso de vigas						0,40	
D						1,10	
L						0,50	
100%D+100%L						1,60	
100%D+25%L						1,22	

Tabla 3.14 Cálculo de cargas nivel+3.96;7.92m, Cons. Externa I

	EDIFICIO:	CONSULTA EXTERNA 1					
	NIELES:	N+11,88m (Cubierta)					
DEPENDENCIA Y TIPO	LONGITUD	ALTURA	ESPESOR	AREA LOSA	PESO UNIT	CARGA	
C. MUERTA ADICIONAL	(m)	(m)	(m)	(m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m)
Recubrimiento de piso			0,05	1,00	2,00	0,100	
pared perimetral	1,00	0,70	0,20		1,40	0,200	0,20
CARGA VIVA						0,200	
Peso de losa						0,34	
Peso de vigas						0,40	
D						1,04	
L						0,20	
100%D+100%L						1,24	
100%D+25%L						1,09	

Tabla 3.15 Cálculo de cargas nivel+11.98m, Cons. Externa I

Dadas las siguientes propiedades de los materiales:

$$f'_c = 280 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

$$f_y = 4200 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$W \text{ (max)} = 1.62 \text{ (T/m}^2\text{)} \quad D+L$$

$$\text{Ancho coop.} = 6.0 \text{ m}$$

$$q \text{ (T/m)} = \text{Ancho coop.} * W$$

$$q \text{ (T/m)} = 9.72$$

Ecuaciones Última Resistencia:

$$M_l = \frac{q * l^2}{10} \quad (\text{Ec.3.11})$$

$$d = \sqrt{\frac{M_u}{\phi * b * R_u}} \quad (\text{Ec.3.12})$$

Entonces:

$$M_u = 9,72 \text{ T-m}$$

b	d	h	h/b
30	70,48	80,0	2,667
35	65,25	70,0	2
40	61,04	70,0	1,75
45	57,55	65,0	1,444
50	54,60	65,0	1,3
55	52,06	60,0	1,091

PRE-DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS VERTICALES:

CUADRO DE AREAS Y PESOS ACUMULADO 100%D+100%L					
COLUMNA	N+3,96	N+7,92	N+11,88	P (Ton)	TIPO
P38	1,99	9,44	0,00	18,33	I*
P39	3,31	3,31	0,00	10,66	I
P40	3,31	3,31	0,00	10,66	I*
P41	8,20	8,20	4,92	32,50	II
P42	12,20	8,66	8,66	44,36	II*
Q38	12,48	12,48	12,48	55,66	III
Q39	23,04	23,04	23,04	102,76	III
Q40	23,04	23,04	23,04	102,76	III
Q41	30,15	30,15	30,15	134,47	III
Q42	37,79	18,91	18,91	114,92	VI
Q43''	19,75	0,00	0,00	32,00	VII
R38	23,40	23,40	23,40	104,36	III
R39	43,20	43,20	43,20	192,67	III*
R40	43,20	43,20	43,20	192,67	III
R41	43,20	43,20	43,20	192,67	III
R42	46,10	46,10	46,10	205,61	VI*
R43'	22,56	0,00	0,00	36,55	VII*
S38	23,40	23,40	23,40	104,36	III

S39	43,20	43,20	43,20	192,67	III
S40	43,20	43,20	43,20	192,67	III
S41	43,20	43,20	43,20	192,67	III
S42	30,25	23,10	23,10	114,61	III
T38	13,15	13,15	13,15	58,65	III
T39	23,04	23,04	23,04	102,76	III
T40	23,04	23,04	23,04	102,76	III
T41	23,04	23,04	23,04	102,76	III
T42	12,48	12,48	12,48	55,66	III
T43	5,59	5,59	5,59	24,93	IV
U38	13,15	13,15	13,15	58,65	III
U39	23,04	23,04	23,04	102,76	III
U40	23,04	23,04	23,04	102,76	III
U41	23,04	23,04	23,04	102,76	III
U42	29,95	29,95	29,95	133,58	III
U43	11,40	11,40	11,40	50,84	IV*
V38	12,87	12,87	12,87	57,40	V
V39	23,76	23,76	23,76	105,97	V*
V40	23,76	23,76	23,76	105,97	V
V41	23,76	23,76	23,76	105,97	V
V42	18,65	18,65	18,65	83,18	V
V43	7,10	7,10	7,10	31,67	IV
SUMA	914,03	849,60	830,26	3869,61	

Tabla 3.16 Cuadro de áreas y pesos acumulados, Cons. Externa I

Secciones de hormigón:

$$A_g = \frac{P}{0.21 \cdot f'_c + 0.34 \cdot \rho \cdot f_y} \quad \text{Dónde:} \quad (\text{Ec.3.13})$$

A_g : sección bruta de hormigón

P: carga axial

f'_c : resistencia del hormigón a los 28 días

ρ : cuantía de acero

f_y : límite de fluencia del acero de refuerzo

1% = flexo-compresión (columnas)

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

0.2% = muros de corte (diafragmas)

Quedando así las ecuaciones del pre-diseño con $f'c=28$ MPa y $f_y=420$ MPa.

$$A_g = \frac{P}{73.08}, \text{ para columnas y } \quad (\text{Ec.3.14})$$

$$A_g = \frac{P}{61.656}, \quad (\text{Ec.3.15}) \text{ para diafragmas, donde P debe estar en kg y } A_g \text{ en cm}^2$$

CUADRO DE PRE-DISEÑO								
NIVEL	TIPO	I	II	III	IV	V	VI	VII
11,88	P	0	10,74	53,57	14,14	29,46	57,16	0
	Ag		146,94	733,00	193,432	403,153	782,21	
	b/h ó		60/60	60/60	40/60	60/60	60	
7,92	P	15,10	24,59	122,69	32,38	67,48	130,92	0
	Ag	206,68	336,54	1678,82	443,02	923,35	1791,52	0
	b/h ó	60/60	60/60	60/60	40/60	60/60	60	
3,96	P	18,33	44,36	192,67	50,84	105,97	205,61	36,55
	Ag	250,79	606,98	2636,45	695,73	1450,05	2813,44	500,10
	b/h ó	60/60	60/60	60/60	40/60	60/60	60	60
cim								

Tabla 3.17 Cuadro pre-diseño, Cons. Externa I

CONSULTA EXTERNA DOS (AUDITORIO)

PRE-DIMENSIONAMIENTO DE
LOSA
Tablero
crítico:

$$L = 7,2 \text{ m}$$

$$S = 6.0 \text{ m}$$

$$m = 0,833 \text{ refuerzo en dos direcciones}$$

Espesor de losa t

$$t = \frac{ln}{33} \text{ Código ACI-318 tabla 9,5©}$$

$$t = \frac{7,2}{33}$$

$$t = 0,218 \text{ m}$$

$$t = \frac{\text{perímetro}}{150}$$

$$t = \frac{26,4}{150}$$

$$t = 0,176 \text{ m}$$

Escogemos el crítico, sumamos el
recubrimiento
y redondeamos a múltiplo de 5
cm

$$t = 22 + 5$$

$$t = 27 \text{ cm}$$

$$t = 30 \text{ cm}$$

PRE-DIMENSIONAMIENTO DE
VIGA

Peso de losa por
2,25m²

elem.	vol.	peso esp.	peso/m ²
loseta	0,113	2,4	0,27
nervios	0,203	2,4	0,486
aliv.	0,08	0,025	0,002
suma			0,758

PPL= 0,337 t/m²

PPvigas= 0.4 t/m²

**Tabla3.18 Pre-dimensionamiento de viga, Cons
Externa II**

Análisis de cargas por niveles:

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

CALCULO DE CARGAS							
	EDIFICIO:	CONSULTA EXTERNA II					
	NIELES:	N+3,96m					
DEPENDENCIA Y TIPO	LONGITUD	ALTURA	ESPESOR	AREA LOSA	PESO UNIT	CARGA	
C. MUERTA ADICIONAL	(m)	(m)	(m)	(m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m)
Recubrimiento de piso			0,04	1	2,1	0,084	
Paredes intermedias	100	3,66	0,2	1020	1,4	0,1	
suma						0,184	
pared sobre viga	1	3,26	0,2		1,4	0,2	0,913
C. viva oficinas/salas						0,25	
C. viva circulación						0,50	
Peso de losa						0,34	
Peso de vigas						0,40	
D						1,12	
L						0,50	
100%D+100%L						1,62	
100%D+25%L						1,25	
	EDIFICIO:	CONSULTA EXTERNA II					
	NIELES:	N+7,92m					
DEPENDENCIA Y TIPO	LONGITUD	ALTURA	ESPESOR	AREA LOSA	PESO UNIT	CARGA	
C. MUERTA ADICIONAL	(m)	(m)	(m)	(m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m)
Recubrimiento de piso			0,08	1,00	2,10	0,168	
Gradería						0,230	
suma						0,398	
Pared sobre viga	1	3,26	0,2		1,4	0,200	0,913
CARGA VIVA							
Auditorio						0,400	
Circulación						0,500	
Peso de losa						0,34	
Peso de vigas						0,40	
D						1,34	
L						0,50	
100%D+100%L						1,84	
100%D+25%L						1,46	

Tabla 3.19 Cálculo de cargas nivel+3.96; 7.92m, Cons.Externa II

	EDIFICIO:	CONSULTA EXTERNA II					
	NIELES:	N+11,88m (Cubierta)					
DEPENDENCIA Y TIPO	LONGITUD	ALTURA	ESPESOR	AREA LOSA	PESO UNIT	CARGA	
C. MUERTA ADICIONAL	(m)	(m)	(m)	(m^2)	(t/m^2)	(t/m^2)	(t/m)
Recubrimiento de piso			0,05	1,00	2,00	0,100	
Cubierta metalica						0,060	
CARGA VIVA							
Losa						0,200	
Cubierta metalica						0,100	
Peso de losa						0,34	
Peso de vigas						0,40	
D						0,90	
L						0,20	
100%D+100%L						1,10	
100%D+25%L						0,95	
	EDIFICIO:	CONSULTA EXTERNA II					
	NIELES:	Cubierta metálica					
DEPENDENCIA Y TIPO	LONGITUD	ALTURA	ESPESOR	AREA LOSA	PESO UNIT	CARGA	
C. MUERTA ADICIONAL	(m)	(m)	(m)	(m^2)	(t/m^2)	(kg/m^2)	(t/m)
Material de cubierta						30,00	0,0375
CARGA VIVA							
Sobre cubierta						100,00	0,125

Tabla 3.20 Cálculo de cargas nivel+11.88m, Cons. Externa II

Dadas las siguientes propiedades de los materiales:

$$f'c = 280 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

$$fy = 4200 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$W \text{ (max)} = 1.84 \text{ (T/m}^2\text{)} \quad D+L$$

$$\text{Ancho coop.} = 6.0 \text{ m}$$

$$q \text{ (T/m)} = \text{Ancho coop.} * W$$

$$q \text{ (T/m)} = 11.04$$

Ecuaciones Última Resistencia:

$$M_u = \frac{q \cdot l^2}{10} \quad (\text{Ec.3.16})$$

$$d = \sqrt{\frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot R_u}} \quad (\text{Ec.3.17})$$

Entonces:

Mu= 11,04 T-m

b	d	h	h/b
30	75,12	85,0	2,833
35	69,54	80,0	2,286
40	65,05	70,0	1,75
45	61,33	70,0	1,556
50	58,19	65,0	1,3
55	55,48	65,0	1,182

PRE-DIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS VERTICALES:

CUADRO DE AREAS Y PESOS ACUMULADO 100%D+100%L					
COLUMNA	N+3,96	N+7,92	N+11,88	P (Ton)	TIPO
V'38	12,87	12,87	12,87	58,69	V
V'39	23,76	23,76	23,76	108,35	V*
V'40	23,76	23,76	23,76	108,35	V
V'41	23,76	23,76	23,76	108,35	V
V'42	12,87	12,87	12,87	58,69	V
W38	23,40	23,40	23,40	106,70	VIII
W39	43,20	43,20	43,20	196,99	VIII*
W40	43,20	43,20	43,20	196,99	VIII
W41	43,20	43,20	43,20	196,99	VIII
W42	29,87	29,87	29,87	136,21	VIII
W43	6,47	6,47	6,47	29,50	XIII
X38	13,67	13,67	13,67	62,34	VIII
X39	23,88	23,88	23,88	108,89	VIII
X40	23,88	23,88	23,88	108,89	VIII

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

X41	31,02	31,02	31,02	141,45	VIII
X42	26,91	26,91	26,91	122,71	VIII
X43	6,71	6,71	6,71	30,60	XIII
Y38	13,67	13,67	3,52	51,17	XIII
Y39	23,88	23,88	4,17	87,21	XIII
Y40	23,88	23,88	4,17	87,21	XIII
Y41	31,02	31,02	22,05	131,58	XIII*
Y42	26,91	26,91	26,91	122,71	XIII
Y43	6,71	6,71	6,71	30,60	XII
Z38	23,40	23,40	2,40	83,60	X
Z39	43,20	43,20	0,00	149,47	IX*
Z40	43,20	43,20	0,00	149,47	IX
Z41	43,20	43,20	22,80	174,55	X*
Z42	35,16	29,77	29,77	144,48	VIII
Z43	11,76	6,35	6,35	37,72	XII
AA38	19,50	19,50	2,40	70,11	X
AA39	42,60	42,60	0,00	147,40	IX
AA40	43,20	43,20	0,00	149,47	IX
AA41	43,20	43,20	22,80	174,55	X
AA42	34,36	29,10	29,10	141,22	VIII
AA43	9,80	4,51	4,51	29,14	XII
BB38	19,35	19,35	3,52	70,82	XI
BB39	21,78	21,78	4,17	79,95	X
BB40	23,76	23,76	4,17	86,80	X
BB41	23,76	23,76	22,05	106,46	X
BB42	16,70	16,70	16,70	76,15	XI*
BB43	11,87	11,87	11,87	54,13	XII*
BB38 diaf	19,35	19,35	11,87	80,01	XIV*
BB43 diaf	11,87	11,87	11,87	54,13	XIV
suma	1048,30	1026,95	662,57	4316,66	

Tabla3.21 Cuadro de áreas y pesos acumulados, Cons .Externa II

Secciones de hormigón:

$A_g = P / (0.21 \cdot f'_c + 0.34 \cdot f_y)$ Dónde:

A_g : sección bruta de hormigón

P: carga axial

$f'c$: resistencia del hormigón a los 28 días

: cuantía de acero

f_y : límite de fluencia del acero de refuerzo

1% = flexo-compresión (columnas)

0.2% = muros de corte (diafragmas)

Quedando así las ecuaciones del pre-diseño con $f'c=28$ MPa y $f_y=420$ MPa.

$A_g=P/73.08$, para columnas y (Ec.3.18)

$A_g=P/61.656$ (Ec.3.19), para diafragmas, donde P debe estar en kg y A_g en cm^2

CUADRO DE PRE-DISEÑO									
NIVEL	TIPO	V	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
11,88	P	14,157	47,52		25,08	18,37	13,06	24,255	13,057
	Ag	193,7192	650,25		343,19	251,37	178,67	331,90	211,77
7,92	b/h ó	60/60	60/60	60/60	60/60	60/60	40/60	40/60	30/320
7,92	P	57,88	127,01	79,49	104,57	49,10	34,90	81,3318	48,661
	Ag	791,95	1737,93	1087,68	1430,87	671,84	477,53	1112,91	789,23
3,96	b/h ó	60/60	60/60	60/60	60/60	60/60	40/60	40/60	30/320
3,96	P	96,37	196,99	149,47	174,55	76,15	54,13	131,58	80,01
	Ag	1318,65	2695,57	2045,32	2388,51	1042,04	740,66	1800,55	1297,65
cim	b/h ó	60/60	60/60	60/60	60/60	60/60	40/60	40/60	30/320

Tabla 3.22 Cuadro pre-diseño, Cons. Externa II

Con las tablas anteriormente dispuestas tenemos pre-dimensionado los elementos estructurales de los tres edificios, los mismos que corresponden a

vigas, losas, columnas y diafragmas. Cabe mencionar que es una estructura esencial y por tanto se han mayorado las secciones transversales de los elementos estructurales verticales, en especial por el cumplimiento de las derivas; de cualquier forma esto se verá reflejado y comprobado en el cálculo del modelo estructural en el paquete computacional.

CAPÍTULO IV

4. NORMAS DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE EDIFICACIONES SISMO-RESISTENTES

4.1. CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN

El Código Ecuatoriano de la Construcción en la sección de Peligro sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos de cálculo para diseño sismo-resistente en su última versión actualizada al año 2002, tiene como objetivo principal establecer un conjunto de especificaciones básicas adecuadas para el diseño de estructuras que están sujetas a los efectos de terremotos que podrían presentarse en algún momento de su vida útil; el alcance de este código es de carácter nacional y todo profesional e institución dedicada al diseño, construcción o fiscalización, tienen la obligación de cumplir y hacer cumplir los requisitos mínimos establecidos en el código.

Es importante por tanto su conocimiento y para ello algunas definiciones como:

Edificaciones esenciales: Aquellas estructuras que deben permanecer operativas luego de un terremoto para atender emergencias. Ejemplo: Hospitales.

Espectro de respuesta para diseño: Es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño. Este espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura, o bien puede ser un espectro construido según los requerimientos especificados en el CEC2002.

Sismo de diseño: Terremoto que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años, determinado bien a partir de un análisis de la peligrosidad sísmica del sitio de emplazamiento de la estructura, o a partir de un mapa de peligro sísmico, tal como el proporcionado por el CEC2002. Para representar este terremoto, puede utilizarse un grupo de acelerogramas que presenten propiedades dinámicas representativas de las características tectónicas, geológicas y geotécnicas del sitio. Los efectos dinámicos del sismo de diseño pueden representarse mediante un espectro de respuesta para diseño.

4.1.1. FILOSOFÍA DE DISEÑO SISMO-RESISTENTE

Las especificaciones del CEC2002 deben ser consideradas como requisitos mínimos a aplicarse para el cálculo y diseño de una estructura, con el fin de resistir eventos de origen sísmico.

Es la intención del CEC2002 que, al cumplir con los requisitos detallados, se proporcione a la estructura de un adecuado diseño sismo-resistente que cumpla con la siguiente filosofía:

- Prevenir daños en elementos no estructurales y estructurales, ante terremotos pequeños y frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.
- Prevenir daños estructurales graves y controlar daños no estructurales, ante terremotos moderados y poco frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.
- Evitar el colapso ante terremotos severos que pueden ocurrir rara vez durante la vida útil de la estructura, procurando salvaguardar la vida de sus ocupantes.

Estos objetivos se consiguen diseñando la estructura para que:

- Tenga la capacidad para resistir las fuerzas especificadas por el código.

- Presente las derivas de piso, ante dichas cargas, inferiores a las admisibles.
- Pueda disipar energía de deformación inelástica, dado que el sismo de diseño produce fuerzas mucho mayores que las equivalentes especificadas por el código.

La memoria de cálculo incluirá una descripción del sistema estructural, los parámetros utilizados para definir las fuerzas sísmicas de diseño, el espectro de diseño o cualquier otro método de definición de la acción sísmica utilizada, así como también los desplazamientos y derivas máximas que presente la estructura, demostrando el cumplimiento de las especificaciones del código, debiendo incluir una descripción de la revisión del comportamiento inelástico, acorde con la filosofía descrita.

4.1.2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE LAS FUERZAS SÍSMICAS ESTÁTICAS

Se presenta el procedimiento en una forma directa y resumida en lo posible:

Cortante Basal de Diseño: El cortante basal total de diseño V , que será aplicado a una estructura en una dirección dada, se determinará mediante las expresiones:

$$V = \frac{ZIC}{R \Phi_p \Phi_E} W \quad (\text{Ec.4.1})$$

$$C = \frac{1,25 S^s}{T} \quad (\text{Ec.4.1.1})$$

Dónde:

C = No debe exceder del valor de C_m establecido en la tabla 4.1, no debe ser menor a 0,5 y puede utilizarse para cualquier estructura,

S = Su valor y el de su exponente se obtienen de la tabla 4.1,

R = Factor de reducción de respuesta estructural,

P, E = Coeficientes de configuración estructural en planta y en elevación, respectivamente.

El coeficiente P se estimará a partir del análisis de las características de regularidad e irregularidad de las plantas en la estructura, descritas en la Tabla 4.2. Se utilizará la expresión:

$$P = P_A \times P_B \quad (\text{Ec.4.2})$$

Dónde:

P_A .- El mínimo valor P_i de cada piso i de la estructura, obtenido de la Tabla 4.2, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 1, 2 y/o 3.

P_B .- Se establece de manera análoga, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 4 y/o 5 en la estructura.

El coeficiente E se estimará a partir del análisis de las características de regularidad e irregularidad en elevación de la estructura, descritas en la Tabla 6 y en la Figura 3. Se utilizará la expresión:

$$E = E_A \times E_B \times E_C \quad (\text{Ec.4.3})$$

Dónde:

E_A = El mínimo valor E_i de cada piso i de la estructura, obtenido de la Tabla 4.3, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 1 y/o 5.

EB = Se establece de manera análoga, para cuando se encuentran presentes las irregularidades tipo 2 y/o 3 en la estructura,

EC = Se establece para cuando se encuentre presente la irregularidad tipo 4 en la estructura.

Cuando una estructura no contempla ninguno de los tipos de irregularidades descritos en la Tabla 6, en ninguno de sus niveles, E tomará el valor de 1.

Período de vibración T: El valor de T será determinado a partir de uno de los métodos descritos a continuación:

Método 1: Para estructuras de edificación, el valor de T puede determinarse de manera aproximada mediante la expresión:

$$T = C_t (h_n)^{3/4}$$

Dónde:

h_n = Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura

$C_t = 0,09$ para pórticos de acero

$C_t = 0,08$ para pórticos espaciales de hormigón armado

$C_t = 0,06$ para pórticos espaciales de hormigón armado con muros estructurales y para otras estructuras.

Método 2: El período fundamental T, puede ser calculado utilizando las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes, en un análisis apropiado y adecuadamente sustentado. Este requisito puede ser cumplido mediante la utilización de la siguiente expresión:

$$T = 2\pi \left[\frac{\sum_{i=1}^n w_i \delta_i^2}{g \sum_{i=1}^n f_i \delta_i} \right]^{1/2} \quad (\text{Ec.4.4})$$

Dónde:

f_i = Representa cualquier distribución aproximada de las fuerza laterales, de acuerdo con los principios descritos más adelante, o cualquiera otra distribución racional.

i = Deflexión elástica del piso i , calculada utilizando las fuerzas laterales f_i .

El factor de reducción de resistencia estructural R , a utilizarse en el cálculo del cortante basal aplicado a una estructura de edificación, en cualquiera de las direcciones de cálculo adoptadas, se escogerá de la Tabla 4.3, tomándose el menor de los valores para los casos en los cuales el sistema resistente estructural resulte en una combinación de varios sistemas como los descritos en la tabla.

DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE LAS FUERZAS LATERALES

En ausencia de un procedimiento más riguroso, basado en los principios de la dinámica, las fuerzas laterales totales de cálculo deben ser distribuidas en la altura de la estructura, utilizando las siguientes expresiones:

$$V = F_t + \sum_{i=1}^n F_i \quad (\text{Ec.4.5})$$
$$F_t = 0,07TV \quad (\text{Ec.4.5.1})$$

Dónde:

F_t = La fuerza concentrada que se aplicará en la parte más alta de la estructura, constituyéndose una fuerza adicional a la fuerza en el último piso.

n = Número de pisos de la estructura

T = El período utilizado para el cálculo del cortante basal total V .

Sin embargo, F_t no necesita exceder el valor de $0,25 V$, y puede considerarse nulo cuando T es menor o igual a $0,7$ s. La parte restante del

cortante basal debe ser distribuido sobre la altura de la estructura, incluyendo el nivel n, de acuerdo con la expresión:

$$F_x = \frac{(V - F_t) w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i}$$

(Ec.4.6)

F_x = La fuerza en el nivel x de la estructura que debe aplicarse sobre toda el área del edificio en ese nivel, de acuerdo a su distribución de masa en cada nivel.

w_i = Es el peso asignado a cada nivel de la estructura, siendo una fracción de la carga reactiva W.

Las acciones y deformaciones en cada elemento estructural deben calcularse como resultado del efecto de las fuerzas F_x y F_t , aplicadas en los niveles apropiados de la estructura sobre su base.

DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL DEL CORTANTE

El cortante de piso V_x , en cualquier piso x, es la suma de las fuerzas F_t y F_x sobre ese piso. V_x debe distribuirse entre los diferentes elementos de sistema resistente a cargas laterales en proporción a sus rigideces, considerando la rigidez del piso.

La masa de cada nivel debe considerarse como concentrada en el centro de masas del piso, pero desplazada una distancia igual al 5 por ciento de la máxima dimensión del edificio en ese piso, perpendicular a la dirección de aplicación de las fuerzas laterales bajo consideración, para tomar en cuenta los posibles efectos de torsión accidental. El efecto de este desplazamiento

debe incluirse en la distribución del cortante de piso y en los momentos torsionales.

Perfil tipo	Descripción	S	Cm
S1	Roca o suelo firme	1,0	2,5
S2	Suelos intermedios	1,2	3,0
S3	Suelos blandos y estrato profundo	1,5	2,8
S4	Condiciones especiales de suelo	2,0*	2,5

Tabla 4.1: Coeficiente de suelo S y coeficiente Cm

Tipo	Descripción de las irregularidades en planta	Φ_{pi}
1	<i>Irregularidad torsional</i> Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.	0,9
2	<i>Entrantes excesivos en las esquinas</i> La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.	0,9
3	<i>Discontinuidad en el sistema de piso</i> La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.	0,9
4	<i>Desplazamiento del plano de acción de elementos verticales</i> Una estructura se considera irregular cuando existen discontinuidades en los ejes verticales, tales como desplazamientos del plano de acción de elementos verticales del sistema resistente.	0,8
5	<i>Ejes estructurales no paralelos</i> La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.	0,9
6	<i>Sistema de piso flexible</i> Cuando la relación de aspecto en planta de la edificación es mayor que 4:1 o cuando el sistema de piso no sea rígido en su propio plano se deberá revisar la condición de piso flexible en el modelo estructural	-

Tabla 4.2: Coeficientes de configuración en planta

Tipo	Descripción de las irregularidades en elevación	Pórticos espaciales y pórticos con vigas banda ΦE_i	Sistemas duales o con diagonales ΦE_i
1	<i>Piso blando (irregularidad en rigidez)</i> La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.	0,9	1,0
2	<i>Irregularidad en la distribución de las masas</i> La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.	0,9	1,0
3	<i>Irregularidad geométrica</i> La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.	0,9	1,0
4	<i>Desalineamiento de ejes verticales</i> La estructura se considera irregular cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema resistente, dentro del mismo plano en el que se encuentran, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento. Se exceptúa la aplicabilidad de este requisito cuando los elementos desplazados solo sostienen la cubierta de la edificación sin otras cargas adicionales de tanques o equipos.	0,8	0,9
5	<i>Piso débil-Discontinuidad en la resistencia</i> La estructura se considera irregular cuando la resistencia del piso es menor que el 70%de la resistencia del piso inmediatamente superior, (entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada).	0,8	1,0
6	<i>Columnas cortas</i> Se debe evitar la presencia de columnas cortas, tanto en el diseño como en la construcción de las estructuras.	-	-

Tabla 4.3: Coeficientes de configuración en elevación

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Factor
1. Edificaciones esenciales y/o peligrosas	Hospitales, clínicas, centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación, transmisión y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1,5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1,3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1,0

Tabla 4.4: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

Sistema estructural	R
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente, con muros estructurales de hormigón armado(sistemas duales).	12
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente.	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda y muros estructurales de hormigón armado(sistemas duales).	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y diagonales rigidizadoras. *	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda y diagonales rigidizadoras. *.	9
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda.	8
Estructuras de acero con elementos armados de placas o con elementos de acero conformados en frío. Estructuras de aluminio.	7
Estructuras de madera	7
Estructura de mampostería reforzada o confinada	5
Estructuras con muros portantes de tierra reforzada o confinada	3

Tabla 4.5: Coeficiente de reducción de respuesta estructural

4.1.3. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL ESPECTRO SÍSMICO ELÁSTICO DE ACELERACIONES

En el análisis dinámico de las estructuras, se necesita de un modelo de la forma en la que el suelo se mueve, entonces es necesario plantear el llamado espectro de aceleraciones de suelo elástico e inelástico. El espectro elástico representa el sismo de diseño, el cálculo y dibujo de este espectro consta de tres partes que están en función del coeficiente C , así tenemos:

$$\text{Para } C \geq C_m; \quad A_d \times g = Z * I * C * g \quad (\text{Ec.4.7})$$

$$\text{Para } 0.5 < C < C_m; \quad A_d \times g = \frac{1.25 * Z * I * S^S * g}{T} \quad (\text{Ec.4.8})$$

$$\text{Para } C < 0.5; \quad A_d \times g = 0.5 * Z * I * g \quad (\text{Ec.4.9})$$

Donde g es el valor de la gravedad.

De esta forma podemos calcular en tres períodos diferentes el espectro de diseño elástico; para los límites de períodos de cambio de ecuación se toma en cuenta la siguiente ecuación:

$$C = \frac{1.25 * S^S}{T} \quad (\text{Ec.4.10})$$

Para el cálculo del espectro inelástico de aceleraciones de suelo debemos relacionar los valores del espectro elástico por el factor de reducción de resistencia y los coeficientes de irregularidades en planta y elevación de las estructuras, entonces las ecuaciones nos quedarían de la siguiente forma:

$$\text{Para } C \geq C_m; \quad A_d \times g = \frac{Z * I * C_m}{R * \emptyset_p * \emptyset_E} * g \quad (\text{Ec.4.11})$$

$$\text{Para } 0.5 < C < C_m; \quad A_d \times g = \frac{1.25 * Z * I * S^S}{R * \emptyset_p * \emptyset_E * T} * g \quad (\text{Ec.4.12})$$

$$\text{Para } C < 0.5; \quad A_d \times g = \frac{0.5 * Z * I}{R * \emptyset_p * \emptyset_E} * g \quad (\text{Ec.4.13})$$

Donde g es el valor de la gravedad.

Con estas ecuaciones se puede estructurar una tabla de valores, que darán como resultado las ordenadas y abscisas del espectro de aceleraciones elástico e inelástico respectivamente así:

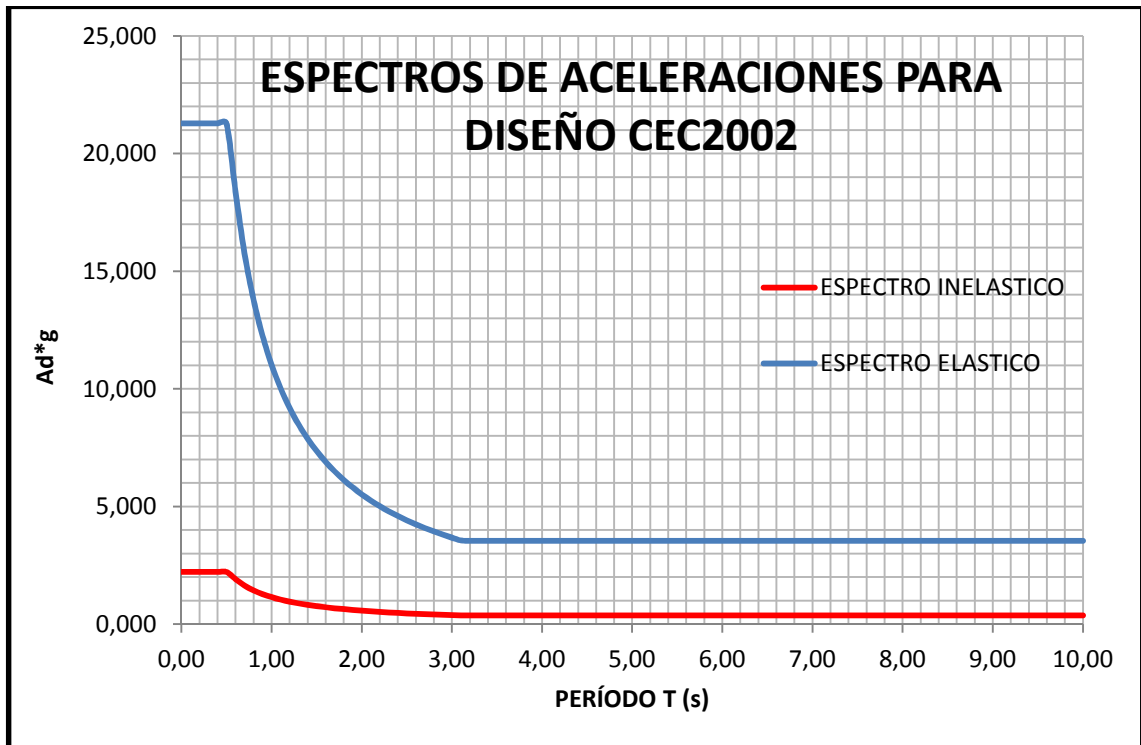


Fig. 4.1. Espectros de aceleraciones del suelo

El diseño sismo-resistente se encuentra entre los límites de estos dos espectros.

4.2. NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-11

El gobierno ecuatoriano en un afán virtuoso y preocupado de actualizar las limitaciones de diseño sismo-resistente decide actualizar su código de la construcción dando como resultado de un trabajo intenso el nuevo código es decir la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-11; ésta en su capítulo II: Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo-resistente plantea algunas diferencias representativas. En cuanto a las definiciones es importante decir

que son terminologías muy semejantes al anterior, pero se incluyen terminologías como:

Sistemas de control de respuesta sísmica.- Son sistemas y dispositivos adaptados a las estructuras que, al modificar las características dinámicas de las estructuras, controlan y disipan parte de la energía de entrada de un sismo, permitiendo por tanto reducir la respuesta sísmica global de la estructura y mitigando el daño ante sismos severos. Pueden clasificarse en 3 grupos: sistemas de aislamiento sísmico, sistemas de disipación pasiva de energía y sistemas de control activo.

Definición que es muy interesante sobre todo porque aquí ya se toman en cuenta los llamados aislamientos sísmicos y dentro de este el aislamiento basal que es el tema principal de estudio del presente trabajo de tesis.

Con el avance de la ingeniería sísmica en el Ecuador se actualiza también la zonificación del país, dando como resultado seis zonas en vez de las cuatro que existían anteriormente, esto es positivo porque focaliza el coeficiente de aceleración sísmica y permite una mejor apreciación de la realidad en función del subsuelo.

4.2.1. FILOSOFÍA DE DISEÑO SISMO-RESISTENTE

Es la intención de la NEC-11, que al cumplir con los requisitos detallados, se proporcione a una estructura de uso normal de edificación, un adecuado diseño sismo resistente que cumpla con la siguiente filosofía:

- Prevenir daños en elementos no estructurales y estructurales, ante terremotos pequeños y frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.
- Prevenir daños estructurales graves y controlar daños no estructurales, ante terremotos moderados y poco frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.

- Evitar el colapso ante terremotos severos que pueden ocurrir rara vez durante la vida útil de la estructura, procurando salvaguardar la vida de sus ocupantes.

Esta filosofía de diseño se consigue diseñando la estructura para que:

- Tenga la capacidad para resistir las fuerzas especificadas por la NEC-11
- Presente las derivas de piso, ante dichas cargas, inferiores a las admisibles.
- Pueda disipar energía de deformación inelástica, haciendo uso de las técnicas de diseño por capacidad o mediante la utilización de dispositivos de control sísmico.

Para aquellas estructuras de ocupación especial y para las estructuras esenciales, catalogadas como tales según los requisitos establecidos en la sección 2.6.4, la filosofía de diseño busca además elevar el nivel de protección de dichas estructuras y propender a que las mismas puedan mantenerse operacionales aún después de la ocurrencia del sismo de diseño. Para este tipo de estructuras se deberá cumplir con los requisitos de la sección 2.9 de la NEC-11.

Si se opta por la utilización de sistemas de control sísmico para el diseño de la estructura, se deberá cumplir con los requisitos establecidos en la sección 2.10 de la NEC-11.

Vemos que esta norma toma en cuenta y trata de regularizar estructuras con sistemas de control sísmico como es la intención de este trabajo; por tanto es necesario revisar el numeral 2.10 de la NEC-11, así tenemos:

DISEÑO DE EDIFICIOS CON SISTEMAS DE CONTROL ESTRUCTURAL

ALCANCE.-Los sistemas de control estructural utilizados para el diseño sismo-resistente no convencional de estructuras son aquellos definidos en la sección 2.1.24 y pueden clasificarse en sistemas de aislamiento sísmico, sistemas de disipación pasiva de energía y sistemas de control activo.

REQUISITOS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE AISLAMIENTO SÍSMICO

El diseño sísmico de edificios con sistemas de aislamiento sísmico, utilizará como requerimientos mínimos a las especificaciones del Capítulo 13 del BSSC (2004) "NEHRP Recommended Provisions and Commentary for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures" (FEMA 450). Sin importar el uso u ocupación del edificio, el parámetro SD1 corresponde a la aceleración espectral para $T = 1s$, para un periodo de retorno de 475 años. SM1 corresponde a la aceleración espectral con para $T = 1s$, para un periodo de retorno de 2500 años, tomando en cuenta el efecto del suelo de cimentación.

REQUISITOS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE DISIPACIÓN PASIVA DE ENERGÍA

El diseño sísmico de edificios con sistemas de disipación pasiva de energía, tales como los amortiguadores sísmicos, utilizará como requerimientos mínimos las especificaciones del Capítulo 15 del BSSC (2004) "NEHRP Recommended Provisions and Commentary for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures" (FEMA 450). Los espectros que definen la amenaza sísmica serán generados como se indica en las secciones anteriores del presente capítulo. El espectro de diseño debe referirse a un terremoto con un periodo de retorno de 475 años, mientras que el espectro máximo considerado se refiere a un periodo de retorno de 2500 años

REQUISITOS DE DISEÑO GENERALES

Toda estructura que utilice en su diseño sistemas de control sísmico, debe poseer un sistema estructural sismo-resistente básico de entre los tipos descritos en la Tabla 2.14. El cortante basal mínimo será calculado conforme lo estipula la sección 2.7.2 del método de cálculo estático de fuerzas sísmicas. Independientemente del método de análisis adoptado y, cuando el factor de zona Z sea igual o mayor a 0.30, la respuesta máxima de la estructura requerirá de la aplicación de un método de análisis no lineal paso a paso, realizados por profesionales calificados en cálculo inelástico de

estructuras con sistemas de control sísmico. Todos los numerales descritos en estos párrafos se refieren a la NEC-11.

4.2.2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE FUERZAS SÍSMICAS ESTÁTICAS

Como la ecuación del cálculo de dichas fuerzas cambia ligeramente de la anterior (CEC-2002), se tratará de establecer un procedimiento detallado simplificado y claro.

CORTANTE BASAL DE DISEÑO.-El cortante basal total de diseño V , a nivel de cargas últimas, que será aplicado a una estructura en una dirección especificada, se determinará mediante las expresiones:

$$V = \frac{I S_a}{R \phi_P \phi_E} W \quad (\text{Ec.4.14})$$

En donde:

I = factor de importancia definido.

W = carga reactiva.

S_a = aceleración espectral correspondiente al espectro de respuesta elástico para diseño.

R = Factor de reducción de respuesta estructural.

ϕ_P, ϕ_E = Factores de configuración estructural en planta y en elevación.

PERIODO DE VIBRACIÓN T .- El periodo de vibración de la estructura, para cada dirección principal, será estimado a partir de uno de los métodos descritos a continuación:

Método 1.- Para estructuras de edificación, el valor de T puede determinarse de manera aproximada mediante la expresión:

$$T = C_t h_n^\alpha \quad (\text{Ec.4.15})$$

En donde:

H_n = altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.

- Para estructuras de acero sin arriostramientos, $C_t = 0.072$ y $\alpha = 0.80$
- Para estructuras de acero con arriostramientos, $C_t = 0.073$ y $\alpha = 0.75$
- Para pórticos espaciales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadores, $C_t = 0.047$ y $\alpha = 0.9$
- Para pórticos espaciales de hormigón armado con muros estructurales o diagonales rigidizadores y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural, $C_t = 0.049$ y $\alpha = 0.75$.

Alternativamente, para estructuras que tengan muros estructurales de hormigón armado o mampostería estructural, el valor de C_t puede calcularse mediante la siguiente ecuación y el valor de α es 1.0.

$$C_t = \frac{0.0062}{\sqrt{C_w}} ; C_w = \frac{100}{A_B} \cdot \sum_{i=1}^{n_w} \left[\left(\frac{h_n}{h_{wi}} \right)^2 \frac{A_{wi}}{1 + 0.83 \left(\frac{h_{wi}}{l_{wi}} \right)^2} \right]$$

(Ec.4.16)

Dónde:

A_B = área de la edificación en su base, en metros cuadrados.

nw = número de muros de la edificación diseñados para resistir las fuerzas sísmica en la dirección de estudio.

hwi = altura del muro i medida desde la base, en metros.

Awi = área mínima de cortante de la sección de un muro estructural i, medida en un plano horizontal, en el primer nivel de la estructura y en la dirección de estudio, en metros cuadrados.

lwi = longitud medida horizontalmente, en metros, de un muro estructura “i” en el primer nivel de la estructura y en la dirección de estudio.

Método 2.- El periodo fundamental T puede ser calculado, utilizando las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes, en un análisis apropiado y adecuadamente sustentado. Este requisito puede ser cumplido mediante la utilización de la siguiente expresión, aplicada en cada dirección principal de la estructura o por medio de un análisis modal:

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i \delta_i^2}{g \sum_{i=1}^n f_i \delta_i}} \quad (\text{Ec.4.17})$$

Dónde:

fi = representa cualquier distribución aproximada de las fuerzas laterales en el piso i, de acuerdo con los principios descritos más adelante, o cualquiera otra distribución racional.

di = deflexión elástica del piso i, calculada utilizando las fuerzas laterales fi.

Sin embargo, el valor de T calculado según el método 2 no debe ser mayor en un 30% al valor de T calculado con el Método 1.

FACTOR DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA SÍSMICA R.- La presente Norma requiere que el diseñador seleccione el sistema estructural a

utilizarse para la edificación, de entre 2 grupos, los sistemas estructurales dúctiles y los sistemas estructurales de ductilidad limitada, los cuales se encuentran descritos en la Tabla 4.6, junto con el valor de reducción de resistencia sísmica R correspondiente. Debe tomarse el menor de los valores de R para los casos en los cuales el sistema resistente estructural resulte en una combinación de varios sistemas como los descritos en la Tabla 4.7.

TIPO DE USO, DESTINO E IMPORTANCIA DE LA ESTRUCTURA. COEFICIENTE I . La estructura a construirse se clasificará en una de las categorías que se establecen en la Tabla 4.6, y se adoptará el correspondiente factor de importancia I . El propósito del factor I es incrementar la demanda sísmica de diseño para estructuras, que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia del sismo de diseño.

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Factor
Edificaciones esenciales y/o peligrosas	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Tabla 4.6. Tipo de uso, Destino e Importancia

Muros estructurales portantes	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos	3
Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R, Sistemas Estructurales Dúctiles	
Sistemas Duales	
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras, sean de hormigón o acero laminado en caliente.	7
Pórticos de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	7
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	7
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	6
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	6
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	6
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	6
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5
Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R, Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	
Pórticos resistentes a momento	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en el capítulo 4, limitados a 2 pisos	3
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos	3

Tabla 4.7. Coeficiente de Reducción de Respuesta Estructural

ESTRUCTURAS REGULARES EN PLANTA Y ELEVACIÓN.- Una estructura se considera como regular en planta y en elevación, cuando no presenta ninguna de las condiciones de irregularidad descritas en las Tablas 4.8 y 4.9.

CONFIGURACIONES NO RECOMENDADAS		
Se ha comprobado que el desempeño sísmico de este tipo de configuraciones no es adecuado; sin embargo, se podrán utilizar siempre que el diseñador presente un estudio complementario de acuerdo al Capítulo de Evaluación de Estructuras		
IRREGULARIDADES EN ELEVACIÓN		IRREGULARIDADES EN PLANTA
Ejes verticales discontinuos o muros soportados por columnas. La estructura se considera irregular no recomendada cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema resistente, dentro del mismo plano en el que se encuentran, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento.		Desplazamiento de los planos de acción de elementos vertical. Una estructura se considera irregular no recomendada cuando existen discontinuidades en los ejes verticales, tales como desplazamientos del plano de acción de elementos verticales del sistema resistente.
Piso débil-Discontinuidad en la resistencia. La estructura se considera irregular no recomendada cuando la resistencia del piso es menor que el 70% de la resistencia del piso inmediatamente superior, (entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada).	<p>RESISTENCIA PISO B < 0.70 RESISTENCIA PISO C</p>	
Columna corta Se debe evitar la presencia de columnas cortas, tanto en el diseño como en la construcción de las estructuras.		

Fig. 4.2. Configuraciones Estructurales No Recomendadas

COEFICIENTE DE CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL EN PLANTA ϕ_P .- El coeficiente ϕ_P se estimará a partir del análisis de las características de regularidad e irregularidad en las plantas en la estructura, descritas en la Tabla 4.8. Se utilizará la expresión:

$$\phi_P = \phi_{PA} \times \phi_{PB} \quad (\text{Ec.4.18})$$

COEFICIENTE DE CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL E ELEVACIÓN ϕ_E .- El coeficiente ϕ_E se estimará a partir del análisis de las características de

regularidad e irregularidad en elevación de la estructura, descritas en la Tabla 4.9. Se utilizará la expresión:

$$\Phi E = \Phi EA \times \Phi EB \quad (\text{Ec.4.19})$$

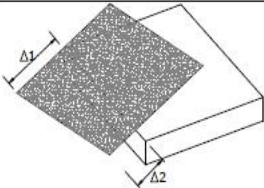
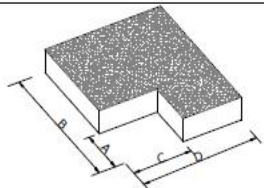
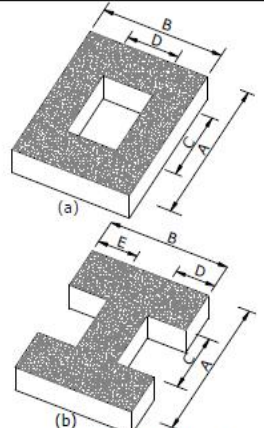

IRREGULARIDAD PENALIZADA EN PLANTA	
<p>Tipo 1 - Irregularidad torsional $\phi_{pi}=0.9$ $\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$</p> <p>Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1.2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	
<p>Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas $\phi_{pi}=0.9$ $A > 0.15B$ y $C > 0.15D$</p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	
<p>Tipo 3 - Discontinuidades en el sistema de piso $\phi_{pi}=0.9$ a) $CxD > 0.5Ax B$ b) $[CxD + CxE] > 0.5Ax B$</p> <p>La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	
<p>Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos $\phi_{pi}=0.9$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Tabla 4.8. Irregularidades en Planta

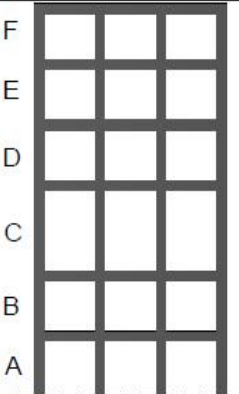
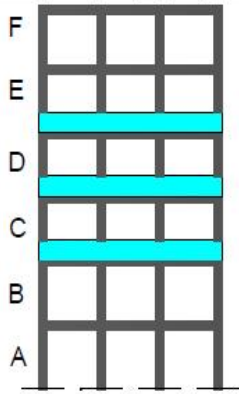
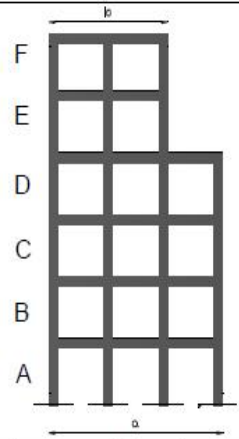
IRREGULARIDAD PENALIZADA EN ELEVACIÓN	
<p>Tipo 1 - Piso flexible $\phi_{EI}=0.9$ Rigidez $K_c < 0.70$ Rigidez K_D $Rigidez < 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
<p>Tipo 2 - Distribución de masa $\phi_{EI}=0.9$ $m_D > 1.50 m_E$ ó $m_D > 1.50 m_C$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1.5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p>Tipo 3 - Irregularidad geométrica $\phi_{EI}=0.9$ $a > 1.3 b$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1.3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto la presencia de estas irregularidades requiere revisiones estructurales adicionales que garanticen el buen comportamiento local y global de la edificación.</p>	

Tabla 4.9. Irregularidades en Elevación

4.2.3. ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO EN ACELERACIONES

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones expresado como fracción de la aceleración de la gravedad S_a , para el nivel del sismo de diseño, se proporciona en la Figura 2.3, consistente con el factor de zona sísmica Z , el tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura y considerando los valores de los coeficiente de amplificación o de amplificación de suelo de las Tablas 4.10, 4.11 y 4.12. Dicho espectro, que obedece a una fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 0.05, se obtiene mediante las siguientes ecuaciones, válidas para periodos de vibración estructural T pertenecientes a 2 rangos:

$$S_a = \eta Z F_a \text{ para } 0 \leq T \leq T_c \quad (\text{Ec.4.20})$$

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T} \right)^r \text{ para } T > T_c \quad (\text{Ec.4.21})$$

donde $r=1$, para tipo de suelo A, B o C y $r=1.5$, para tipo de suelo D o E. Asimismo, de los análisis de las ordenadas de los espectros de peligro uniforme en roca para el 10% de probabilidad de excedencia en 50 años (Periodo de retorno 475 años), que se obtienen a partir de los valores de aceleraciones espectrales proporcionados por las curvas de peligro sísmico de la sección 2.5.3 y, normalizándolos para la aceleración máxima en el terreno, Z , se definieron los valores de la relación de amplificación espectral, h (S_a/Z , en roca), que varían dependiendo de la región del Ecuador, adoptando los siguientes valores:

$h = 1.8$ (Provincias de la Costa, excepto Esmeraldas), 2.48 (Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos), 2.6 (Provincias del Oriente).

Los límites para el periodo de vibración T_C y T_L se obtienen de las siguientes expresiones:

$$T_C = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}; \quad T_L = 2.4 F_d \quad (\text{Ec.4.22})$$

No obstante, para los perfiles de suelo tipo D y E, los valores de T_L se limitarán a un valor máximo de 4 segundos.

Para análisis dinámico y, únicamente para evaluar la respuesta de los modos de vibración diferentes al modo fundamental, el valor de S_a debe evaluarse mediante la siguiente expresión, para valores de periodo de vibración menores a T_0 :

$$S_a = Z F_a \left(1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_0} \right) \text{ para } T \leq T_0 \quad (\text{Ec.4.23})$$

$$T_0 = 0.10 F_s \frac{F_d}{F_a} \quad (\text{Ec.4.24})$$

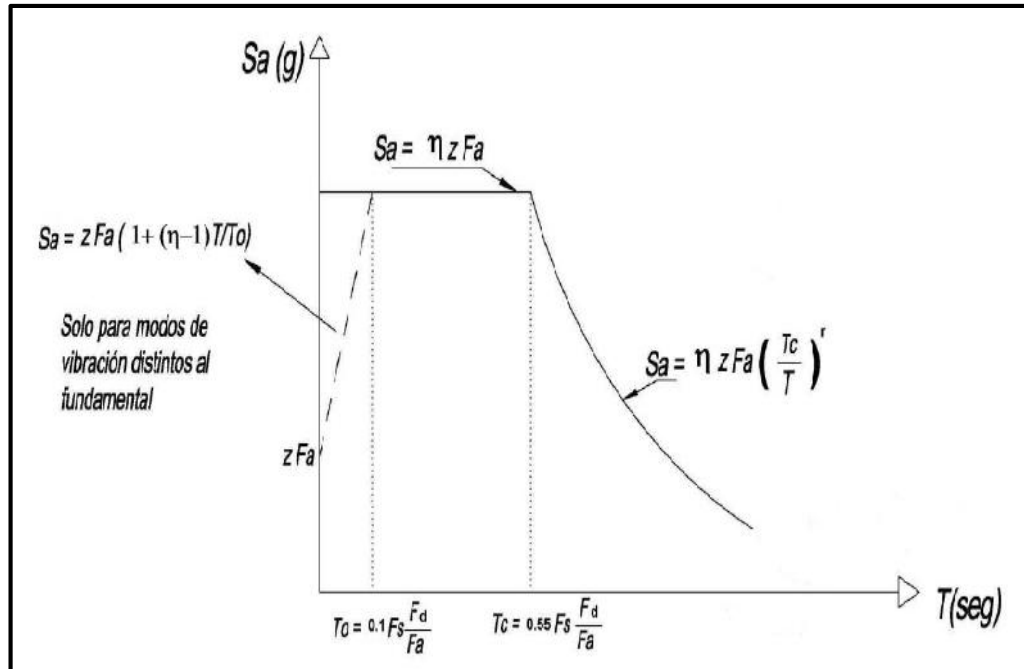


Fig. 4.3 Espectro Sísmico Elástico de Aceleraciones

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{V}_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 360 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50.0$ $\bar{S}_u \geq 100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 180 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{S}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$\bar{V}_s < 180 \text{ m/s}$
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 w ≥ 40% $\bar{S}_u < 50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2)$
F	<p>Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista (Ver 2.5.4.9). Se contemplan las siguientes subclases:</p> <p>F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.</p> <p>F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H >3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).</p> <p>F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H >7.5 m con índice de Plasticidad IP >75)</p> <p>F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H >30m)</p> <p>F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.</p> <p>F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.</p>	

Tabla 4.10 Tipos de Suelo

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D		1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.15
E		1.8	1.5	1.4	1.28	1.15	1.05
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Tabla 4.12. Tipo de suelo y factores de sitio F_a

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D		1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
E		2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Tabla 4.13. Tipo de suelo y factores de sitio F_d

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C		1	1.1	1.2	1.25	1.3	1.45
D		1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65
E		1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Tabla 4.14. Tipo de suelo y factores de comportamiento inelástico F_s

4.3. NORMA CHILENA DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE EDIFICIOS CON AISLACIÓN SÍSMICA NCH2745

Como Chile es uno de los países pioneros en el análisis, diseño y construcción de edificios con sistemas de aislación basal y además es un país latinoamericano, tomaremos en cuenta la NCH2745 que expone la implementación de sistemas de aislación basal.

La NCH2745 establece requisitos para el análisis y diseño sísmico de edificios con aislación sísmica. También establece requisitos para el diseño

de los elementos no estructurales soportados por el edificio y los ensayos requeridos para el sistema de aislación.

Con toda la norma existen algunos términos y definiciones importantes que se exponen a continuación:

Aislador.- Elemento estructural del sistema de aislación que es horizontalmente flexible y verticalmente rígido y que permite grandes deformaciones laterales bajo sollicitación sísmica. Es un elemento que se puede utilizar como parte de él, o adicionalmente al, sistema de carga gravitacional de la estructura.

Amortiguamiento efectivo.- Valor de la razón de amortiguamiento viscoso equivalente que se obtiene de la energía disipada para respuesta crítica del sistema de aislación.

Desplazamiento de diseño.- Desplazamiento lateral producido por el sismo de diseño, excluyendo el desplazamiento debido a la torsión natural y accidental, requerido para el diseño del sistema de aislación.

Interfaz de aislación.- Espacio generado por el sistema de aislación que se encuentra limitado en su parte superior por la superestructura y en su parte inferior por la subestructura.

Sismo de diseño.- Nivel del movimiento sísmico del suelo que tiene como mínimo 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.

Sismo máximo posible.- Nivel máximo del movimiento del suelo que puede ocurrir en el lugar de edificación dentro del esquema geológico conocido; se puede considerar como el nivel del movimiento sísmico del suelo que tiene un 10% de probabilidad de ser excedido en un período de 100 años.

Sistema de aislación.- Conjunto de elementos estructurales que incluye a todos los aisladores individuales, todos los elementos estructurales que transfieren fuerza entre los elementos del sistema de aislación y la súper

estructura y subestructura, y todas las conexiones a otros elementos estructurales.

4.3.1. FILOSOFÍA DE DISEÑO

La condición esencial de una estructura aislada, es que su desempeño objetivo no solo involucre la protección de la vida durante un sismo severo, sino también la reducción de daño de la estructura y sus contenidos. De esta forma, los requisitos de diseño que se presentan en la NCH2745 son una combinación de ambos objetivos: protección de la vida útil y reducción del daño. Es decir que deben:

1. Resistir sismos pequeños y moderados sin daño en elementos estructurales, componentes no estructurales, y contenidos del edificio.
2. Resistir sismos severos sin que exista:
 - a. Falla del sistema de aislación.
 - b. Daño significativo a los elementos estructurales.
 - c. Daño masivo a elementos no estructurales.

Esto se logra gracias a que la estructura aislada se mantiene esencialmente en un rango elástico durante el sismo de diseño, ya que el desplazamiento lateral ocurre en la interfaz de aislación y no en la superestructura, reduciendo las aceleraciones, derivas y corte basal responsables de los daños.

Como punto de partida, estos requisitos definen dos niveles sísmicos: un nivel sísmico de diseño (SDI) y un nivel sísmico máximo posible (SMP). El sismo de diseño coincide con el nivel utilizado comúnmente en el diseño de estructuras convencionales, consistente en una probabilidad del 10% de excedencia en 50 años. Por otra parte el sismo máximo probable, corresponde al máximo nivel de movimiento del suelo que puede ocurrir

dentro del marco geológico conocido y ha sido definido como el nivel que tiene una probabilidad de excedencia de un 10% en 100 años.

4.3.2. COMPARACIÓN DE NORMAS CEC 2002, NEC-11 Y NCH-2745

La filosofía de las normas CEC2002 y NEC-11 son iguales, lo que quiere decir que lo más importante es la vida de los ocupantes de las edificaciones ante sismos severos.

La ecuación para el cálculo del cortante basal de diseño cambia, lo que hace que se necesite un análisis más detallado para este cálculo, en la NEC-11 se incrementa tablas de selección y la zonificación para una mejor apreciación del coeficiente de aceleración espectral.

La NEC-11 presenta un espectro sísmico elástico de aceleraciones con diferencias representativas respecto del espectro del CEC 2002, el primero tiene ahora un tramo de recta de pendiente positivo en su inicio de utilización solo para modos de vibración distintos al fundamental.

Adicionalmente la NEC-11, presenta un espectro sísmico elástico en base a desplazamientos para diseño, este consta de 4 tramos de grafico que responden a ecuaciones establecidas.

El factor de reducción de respuesta estructural es otro cambio entre los códigos, en la NEC-11 los coeficientes se reducen respecto del CEC2002, lo que tiene un efecto de mayoración del coeficiente para el cálculo del cortante basal.

La distribución del cortante basal en los diferentes niveles de la edificación por análisis estático se mantiene en principios iguales es decir, se distribuye esta fuerza en función del peso y altura de cada piso de la edificación, dando como resultado una distribución triangular.

Existe también una diferencia significativa en la filosofía de diseño entre la NEC-11 y la NCH-2745, la misma que se enfoca en la diferencia que plantea

la NCH-2745 al establecer que bajo los efectos de un sismo severo, la estructura aislada no debe dañarse los elementos estructurales y conservarse los elementos no estructurales, es decir preservar la vida humana y reducción del daño de la edificación.

La NCH-2745 plantea además un sismo máximo posible, que se define como la probabilidad de excedencia del 10% en un período de 100 años, mientras que en los otros códigos es en 50 años.

CAPÍTULO V

5. CÁLCULO DE LAS FUERZAS SÍSMICAS CORRESPONDIENTES A LAS NORMAS APLICADAS EN LOS EDIFICIOS

Se calculará las fuerzas sísmicas estáticas, se repartirá por niveles en los edificios, además los espectros de aceleraciones de suelo, para análisis dinámico con los procesos descritos en el capítulo anterior y para el CEC 2002 y la NC-11. Los procesos, las ecuaciones y tablas utilizadas están descritas en el capítulo anterior es por eso que en el presente capítulo nos enfocaremos más a los resultados de los coeficientes y gráficos.

5.1. FUERZAS SÍSMICAS ESTÁTICAS SEGÚN LA NEC-11

Las fuerzas sísmicas estáticas están dadas por el cortante basal de diseño el cual está definido por la siguiente ecuación (definida en el capítulo IV):

$$V = \frac{I S_a}{R \phi_P \phi_E} W \quad (\text{Ec.5.1})$$

Si V es el cortante basal de diseño y W es el peso total de la estructura (100%D+25%L), entonces faltaría por complementar el coeficiente sísmico, el cual se calcula a continuación; particularizando para cada edificio:

HALL CENTRAL

CÁLCULO DEL COEFICIENTE SÍSMICO		
PARÁMETROS		
Z= 0,4		Ct= 0,049
I= 1,5		hn= 27,72 m
Suelo: C	Tabla 4,13	= 0,75

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

Fa= 1,2	Tabla 4,10	n= 2,48
Fs= 1,3	Tabla 4,12	
Fd= 1,3	Tabla 4,11	
PERÍODOS:		

$$T_c = 0,55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0,775 \text{ s}$$

$$T = C_t * h_n^{\wedge}$$

$$T = 0,592 \text{ s}$$

COMPARACIÓN:

$$T_c \text{ vs. } T$$

$$0,775 > 0,6 \rightarrow S_a = * * F_a$$

Sa= 1,190
COEFICIENTE:

R= 7	Tabla 4,6	
p= 0,8	Tabla 4,8	
e= 1	Tabla 4,9	

$$\text{Coef} = \frac{S_a}{R * p} * \frac{I}{e}$$

$$\text{Coef} = 0,319 \text{ en cada sentido}$$

CORTANTE BASAL DE DISEÑO

$$V = \text{Coef} * W$$

$$V = 0,319 * 5811.8$$

$$V = 1853.98 \text{ Ton}$$

CÁLCULO DE COEFICIENTE SÍSMICO

PARÁMETROS

Z= 0,4

I= 1,5

Suelo: C Tabla 4,13

Fa= 1,2 Tabla 4,10

Fs= 1,3 Tabla 4,12

Fd= 1,3 Tabla 4,11

Ct= 0,047

hn= 23,76 m

= 0,9

n= 2,48

PERÍODOS:

Tc= 0,55 * Fs * $\frac{F_d}{F_a}$

Tc= 0,775 s

T= Ct * hn ^

T= 0,814 s

COMPARACIÓN:

Tc vs. T

0,775 < 0,8

Sa= $\frac{Z}{T} * \frac{F_a}{T}$

Sa= 1,133

COEFICIENTE:

R= 6 Tabla 4,6

p= 0,9 Tabla 4,8

e= 0,9 Tabla 4,9

Coef= $\frac{S_a}{R * p} * \frac{I}{e}$

Coef= 0,35

en cada sentido

CORTANTE BASAL DE DISEÑO

V= Coef * W

$$V = 0,35 \cdot 3796.07$$

$$V = 1328.62 \text{ Ton}$$

CONSULTA EXTERNA I

CÁLCULO DE COEFICIENTE SÍSMICO

PARÁMETROS

Z=	0,4		
I=	1,5		
Suelo:	C	Tabla 4,13	
Fa=	1,2	Tabla 4,10	
Fs=	1,3	Tabla 4,12	
Fd=	1,3	Tabla 4,11	

Ct=	0,047	
hn=	11,88	m
=	0,9	
n=	2,48	

PERÍODOS:

$$T_c = 0,55 \cdot F_s \cdot \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0,775 \text{ s}$$

$$T = C_t \cdot h_n^{\frac{1}{n}}$$

$$T = 0,436 \text{ s}$$

COMPARACIÓN:

$$T_c \text{ vs. } T$$

$$0,775 > 0,4 \rightarrow S_a = Z \cdot F_a \cdot \frac{T_c}{T}$$

$$S_a = 2,115$$

COEFICIENTE:

R=	6	Tabla 4,6	
p=	0,9	Tabla 4,8	
e=	0,9	Tabla 4,9	

$$\text{Coef} = \frac{S_a}{R \cdot p \cdot e} \cdot I$$

Coef= 0,65

en cada sentido

CORTANTE BASAL DE DISEÑO

$$V = \text{Coef} * W$$

$$V = 0,65 * 3074.8$$

$$V = 2007.30 \text{ Ton}$$

CONSULTA EXTERNA II

CÁLCULO DE COEFICIENTE SÍSMICO

PARÁMETROS

Z=	0,4		
I=	1,5		
Suelo: C		Tabla 4,13	
Fa=	1,2	Tabla 4,10	
Fs=	1,3	Tabla 4,12	
Fd=	1,3	Tabla 4,11	

Ct=	0,047	
hn=	14,1	m
=	0,9	
n=	2,48	

PERÍODOS:

$$T_c = 0,55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0,775 \text{ s}$$

$$T = C_t * h_n^{\wedge}$$

$$T = 0,509 \text{ s}$$

COMPARACIÓN:

$$T_c \text{ vs. } T$$

$$0,775 > 0,5 \rightarrow S_a = * Z * F_a * \frac{T_c}{T}$$

Sa= 1,813

COEFICIENTE:

R=	6	Tabla 4,6	
p=	0,9	Tabla 4,8	

e=	0,9	Tabla 4,9	
----	-----	--------------	--

$$\text{Coef} = \frac{S_a}{R} * \frac{I}{p * e}$$

Coef= 0,56 en cada sentido

CORTANTE BASAL DE DISEÑO

$$V = \text{Coef} * W$$

$$V = 0,56 * 3274.97$$

$$V = 1833.98 \text{ Ton}$$

5.2. ESPECTRO SÍSMICO DE ACELERACIONES SEGÚN LA NEC-11

Se presentan los dos espectros: el espectro elástico y el inelástico los mismos que han sido calculados con los procedimientos descritos en el capítulo IV.

Los espectros sísmicos de aceleraciones se han calculado para cada edificio, con los períodos, alturas y coeficientes propios de cada estructura, dando como resultado las tablas de cálculo y los gráficos correspondientes que se exponen a continuación:

HALL CENTRAL:

Tablas de cálculo:

ESPECTRO ELÁSTICO			ESPECTRO INELÁSTICO		
Fs= 1,3	To= 0,14		Fs= 1,3	To= 0,14	R= 7
Fd= 1,3	Tc= 0,77		Fd= 1,3	Tc= 0,77	p= 0,8
Fa= 1,2	T= 0,59		Fa= 1,2	T= 0,00	e= 1
= 2,48	Z= 0,4		= 2,48	Z= 0,4	
I= 1,5			I= 1,5		
T	Ad	Ad*g	T	Ad	Ad*g
0,00	1,786	17,517	0,00	0,319	3,128
0,10	1,786	17,517	0,10	0,319	3,128
0,20	1,786	17,517	0,20	0,319	3,128

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

0,30	1,786	17,517	0,30	0,319	3,128
0,40	1,786	17,517	0,40	0,319	3,128
0,50	1,786	17,517	0,50	0,319	3,128
0,60	1,786	17,517	0,60	0,319	3,128
0,70	1,786	17,517	0,70	0,319	3,128
0,80	1,729	16,960	0,80	0,309	3,029
0,90	1,537	15,076	0,90	0,274	2,692
1,00	1,383	13,568	1,00	0,247	2,423
1,10	1,257	12,335	1,10	0,225	2,203
1,20	1,153	11,307	1,20	0,206	2,019
1,30	1,064	10,437	1,30	0,190	1,864
1,40	0,988	9,692	1,40	0,176	1,731
1,50	0,922	9,045	1,50	0,165	1,615
1,60	0,864	8,480	1,60	0,154	1,514
1,70	0,814	7,981	1,70	0,145	1,425
1,80	0,768	7,538	1,80	0,137	1,346
1,90	0,728	7,141	1,90	0,130	1,275
2,00	0,692	6,784	2,00	0,123	1,211
2,10	0,659	6,461	2,10	0,118	1,154
2,20	0,629	6,167	2,20	0,112	1,101
2,30	0,601	5,899	2,30	0,107	1,053
2,40	0,576	5,653	2,40	0,103	1,010
2,50	0,553	5,427	2,50	0,099	0,969
2,60	0,532	5,219	2,60	0,095	0,932
2,70	0,512	5,025	2,70	0,091	0,897
2,80	0,494	4,846	2,80	0,088	0,865
2,90	0,477	4,679	2,90	0,085	0,835
3,00	0,461	4,523	3,00	0,082	0,808
3,10	0,446	4,377	3,10	0,080	0,782
3,20	0,432	4,240	3,20	0,077	0,757
3,30	0,419	4,112	3,30	0,075	0,734
3,40	0,407	3,991	3,40	0,073	0,713
3,50	0,395	3,877	3,50	0,071	0,692
3,60	0,384	3,769	3,60	0,069	0,673
3,70	0,374	3,667	3,70	0,067	0,655
3,80	0,364	3,571	3,80	0,065	0,638
3,90	0,355	3,479	3,90	0,063	0,621
4,00	0,346	3,392	4,00	0,062	0,606
4,10	0,337	3,309	4,10	0,060	0,591
4,20	0,329	3,231	4,20	0,059	0,577
4,30	0,322	3,155	4,30	0,057	0,563
4,40	0,314	3,084	4,40	0,056	0,551
4,50	0,307	3,015	4,50	0,055	0,538
4,60	0,301	2,950	4,60	0,054	0,527
4,70	0,294	2,887	4,70	0,053	0,516

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

4,80	0,288	2,827
4,90	0,282	2,769
5,00	0,277	2,714
5,10	0,271	2,660
5,20	0,266	2,609
5,30	0,261	2,560
5,40	0,256	2,513
5,50	0,251	2,467
5,60	0,247	2,423
5,70	0,243	2,380
5,80	0,238	2,339
6,50	0,213	2,087
6,60	0,210	2,056
6,70	0,206	2,025
6,80	0,203	1,995
6,90	0,200	1,966
7,00	0,198	1,938
7,10	0,195	1,911
7,20	0,192	1,884
7,30	0,189	1,859
7,40	0,187	1,834
7,50	0,184	1,809
7,60	0,182	1,785
7,70	0,180	1,762
7,80	0,177	1,740
7,90	0,175	1,717
9,00	0,154	1,508
9,10	0,152	1,491
9,20	0,150	1,475
9,30	0,149	1,459
9,40	0,147	1,443
9,50	0,146	1,428
9,60	0,144	1,413
9,70	0,143	1,399
9,80	0,141	1,385
9,90	0,140	1,371
10,00	0,138	1,357

**Tabla 5.1 Espectro elástico,
Hall Central**

4,80	0,051	0,505
4,90	0,050	0,494
5,00	0,049	0,485
5,10	0,048	0,475
5,20	0,047	0,466
5,30	0,047	0,457
5,40	0,046	0,449
5,50	0,045	0,441
5,60	0,044	0,433
5,70	0,043	0,425
5,80	0,043	0,418
6,50	0,038	0,373
6,60	0,037	0,367
6,70	0,037	0,362
6,80	0,036	0,356
6,90	0,036	0,351
7,00	0,035	0,346
7,10	0,035	0,341
7,20	0,034	0,337
7,30	0,034	0,332
7,40	0,033	0,327
7,50	0,033	0,323
7,60	0,032	0,319
7,70	0,032	0,315
7,80	0,032	0,311
7,90	0,031	0,307
9,00	0,027	0,269
9,10	0,027	0,266
9,20	0,027	0,263
9,30	0,027	0,261
9,40	0,026	0,258
9,50	0,026	0,255
9,60	0,026	0,252
9,70	0,025	0,250
9,80	0,025	0,247
9,90	0,025	0,245
10,00	0,025	0,242

**Tabla 5.2 Espectro inelástico,
Hall Central**

Para modos de vibración distintos al fundamental y $T < T_o$

PARA MODOS DE VIBRAC DISTAL
FUNADAM

Fs= 1,3	To= 0,14	R= 7
Fd= 1,3	Tc= 0,77	p= 0,8
Fa= 1,2	T= 0,00	e= 1
= 2,48	Z= 0,4	
l= 1,5		
T	Ad	
0,00	0,480 4,709	
0,10	0,984 9,657	
0,20	1,489 14,606	
0,26	1,786 17,525	

T	Ad
0,00	0,086 0,841
0,10	0,176 1,725
0,20	0,266 2,608
0,26	0,319 3,130

Tabla 5.3 Modos de vibración distal fundamental, Hall Central

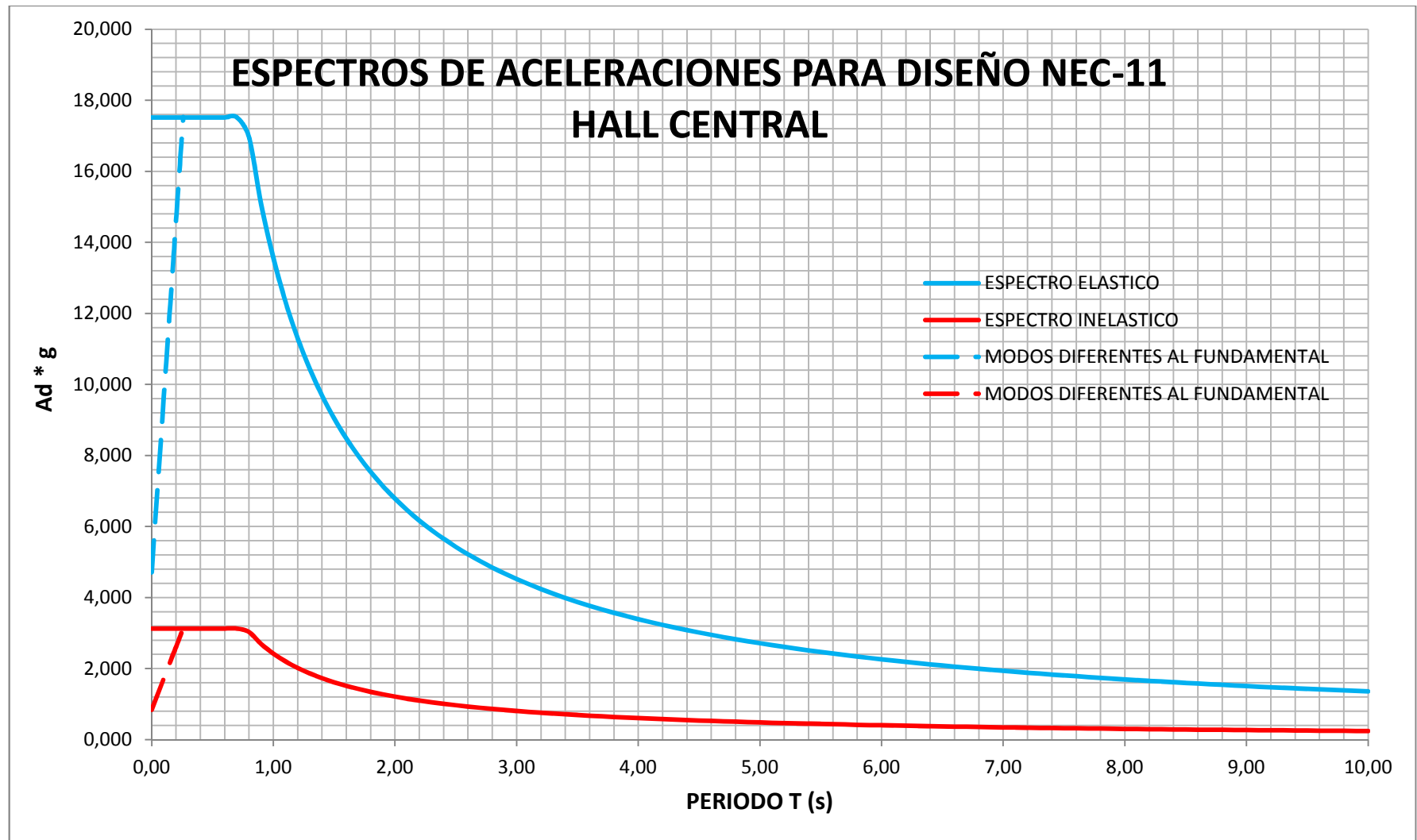


Fig. 5.1. Espectro Sísmico de Aceleraciones, Hall Central

GOBERNANTES:

ESPECTRO ELÁSTICO			ESPECTRO INELÁSTICO		
Fs= 1,3	To= 0,14		Fs= 1,3	To= 0,14	R= 6
Fd= 1,3	Tc= 0,77		Fd= 1,3	Tc= 0,77	p= 9
Fa= 1,2	T= 0,81		Fa= 1,2	T= 0,00	e= 9
= 2,48	Z= 0,4		= 2,48	Z= 0,4	
I= 1,5			I= 1,5		
T	Ad	Ad*g	T	Ad	Ad*g
0,00	1,786	17,517	0,00	0,367	3,604
0,10	1,786	17,517	0,10	0,367	3,604
0,20	1,786	17,517	0,20	0,367	3,604
0,30	1,786	17,517	0,30	0,367	3,604
0,40	1,786	17,517	0,40	0,367	3,604
0,50	1,786	17,517	0,50	0,367	3,604
0,60	1,786	17,517	0,60	0,367	3,604
0,70	1,786	17,517	0,70	0,367	3,604
0,80	1,729	16,960	0,80	0,356	3,490
0,90	1,537	15,076	0,90	0,316	3,102
1,00	1,383	13,568	1,00	0,285	2,792
1,10	1,257	12,335	1,10	0,259	2,538
1,20	1,153	11,307	1,20	0,237	2,327
1,30	1,064	10,437	1,30	0,219	2,148
1,40	0,988	9,692	1,40	0,203	1,994
1,50	0,922	9,045	1,50	0,190	1,861
1,60	0,864	8,480	1,60	0,178	1,745
1,70	0,814	7,981	1,70	0,167	1,642
1,80	0,768	7,538	1,80	0,158	1,551
1,90	0,728	7,141	1,90	0,150	1,469
2,00	0,692	6,784	2,00	0,142	1,396
2,10	0,659	6,461	2,10	0,136	1,329
2,20	0,629	6,167	2,20	0,129	1,269
2,30	0,601	5,899	2,30	0,124	1,214
2,40	0,576	5,653	2,40	0,119	1,163
2,50	0,553	5,427	2,50	0,114	1,117
2,60	0,532	5,219	2,60	0,109	1,074
2,70	0,512	5,025	2,70	0,105	1,034
2,80	0,494	4,846	2,80	0,102	0,997
2,90	0,477	4,679	2,90	0,098	0,963
3,00	0,461	4,523	3,00	0,095	0,931

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

3,10	0,446	4,377	3,10	0,092	0,901
3,20	0,432	4,240	3,20	0,089	0,872
3,30	0,419	4,112	3,30	0,086	0,846
3,40	0,407	3,991	3,40	0,084	0,821
3,50	0,395	3,877	3,50	0,081	0,798
3,60	0,384	3,769	3,60	0,079	0,776
3,70	0,374	3,667	3,70	0,077	0,755
3,80	0,364	3,571	3,80	0,075	0,735
3,90	0,355	3,479	3,90	0,073	0,716
4,00	0,346	3,392	4,00	0,071	0,698
4,10	0,337	3,309	4,10	0,069	0,681
4,20	0,329	3,231	4,20	0,068	0,665
4,30	0,322	3,155	4,30	0,066	0,649
4,40	0,314	3,084	4,40	0,065	0,635
4,50	0,307	3,015	4,50	0,063	0,620
4,60	0,301	2,950	4,60	0,062	0,607
4,70	0,294	2,887	4,70	0,061	0,594
4,80	0,288	2,827	4,80	0,059	0,582
4,90	0,282	2,769	4,90	0,058	0,570
5,00	0,277	2,714	5,00	0,057	0,558
5,10	0,271	2,660	5,10	0,056	0,547
5,20	0,266	2,609	5,20	0,055	0,537
5,30	0,261	2,560	5,30	0,054	0,527
5,40	0,256	2,513	5,40	0,053	0,517
5,50	0,251	2,467	5,50	0,052	0,508
5,60	0,247	2,423	5,60	0,051	0,499
5,70	0,243	2,380	5,70	0,050	0,490
5,80	0,238	2,339	5,80	0,049	0,481
5,90	0,234	2,300	5,90	0,048	0,473
6,00	0,231	2,261	6,00	0,047	0,465
6,10	0,227	2,224	6,10	0,047	0,458
6,20	0,223	2,188	6,20	0,046	0,450
6,30	0,220	2,154	6,30	0,045	0,443
6,40	0,216	2,120	6,40	0,044	0,436
6,50	0,213	2,087	6,50	0,044	0,430
6,60	0,210	2,056	6,60	0,043	0,423
6,70	0,206	2,025	6,70	0,042	0,417
6,80	0,203	1,995	6,80	0,042	0,411
6,90	0,200	1,966	6,90	0,041	0,405
7,00	0,198	1,938	7,00	0,041	0,399
7,10	0,195	1,911	7,10	0,040	0,393
7,20	0,192	1,884	7,20	0,040	0,388
7,30	0,189	1,859	7,30	0,039	0,382
7,40	0,187	1,834	7,40	0,038	0,377
7,50	0,184	1,809	7,50	0,038	0,372

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

7,60	0,182	1,785
7,70	0,180	1,762
7,80	0,177	1,740
7,90	0,175	1,717
8,00	0,173	1,696
8,10	0,171	1,675
8,20	0,169	1,655
8,30	0,167	1,635
8,40	0,165	1,615
8,50	0,163	1,596
8,60	0,161	1,578
8,70	0,159	1,560
8,80	0,157	1,542
8,90	0,155	1,525
9,00	0,154	1,508
9,10	0,152	1,491
9,20	0,150	1,475
9,30	0,149	1,459
9,40	0,147	1,443
9,50	0,146	1,428
9,60	0,144	1,413
9,70	0,143	1,399
9,80	0,141	1,385
9,90	0,140	1,371
10,00	0,138	1,357

**Tabla 5.4 Espectro elástico,
Gobernantes**

7,60	0,037	0,367
7,70	0,037	0,363
7,80	0,036	0,358
7,90	0,036	0,353
8,00	0,036	0,349
8,10	0,035	0,345
8,20	0,035	0,340
8,30	0,034	0,336
8,40	0,034	0,332
8,50	0,033	0,328
8,60	0,033	0,325
8,70	0,033	0,321
8,80	0,032	0,317
8,90	0,032	0,314
9,00	0,032	0,310
9,10	0,031	0,307
9,20	0,031	0,303
9,30	0,031	0,300
9,40	0,030	0,297
9,50	0,030	0,294
9,60	0,030	0,291
9,70	0,029	0,288
9,80	0,029	0,285
9,90	0,029	0,282
10,00	0,028	0,279

**Tabla 5.5 Espectro inelástico,
Gobernantes**

Para modos de vibración distintos al fundamental y $T_0 \leq T$

PARA MODOS DE VIBRAC DISTAL
FUNADAM

Fs= 1,3	To= 0,14	R= 6
Fd= 1,3	Tc= 0,77	p= 0,9
Fa= 1,2	T= 0,00	e= 0,9
= 2,48	Z= 0,4	
l= 1,5		
T	Ad	
0,00	0,480 4,709	
0,10	0,984 9,657	
0,20	1,489 14,606	
0,26	1,797 17,624	

T	Ad
0,00	0,099 0,969
0,10	0,203 1,987
0,20	0,306 3,005
0,26	0,369 3,616

Tabla 5.6 Modos de vibración distal fundamental, Gobernantes

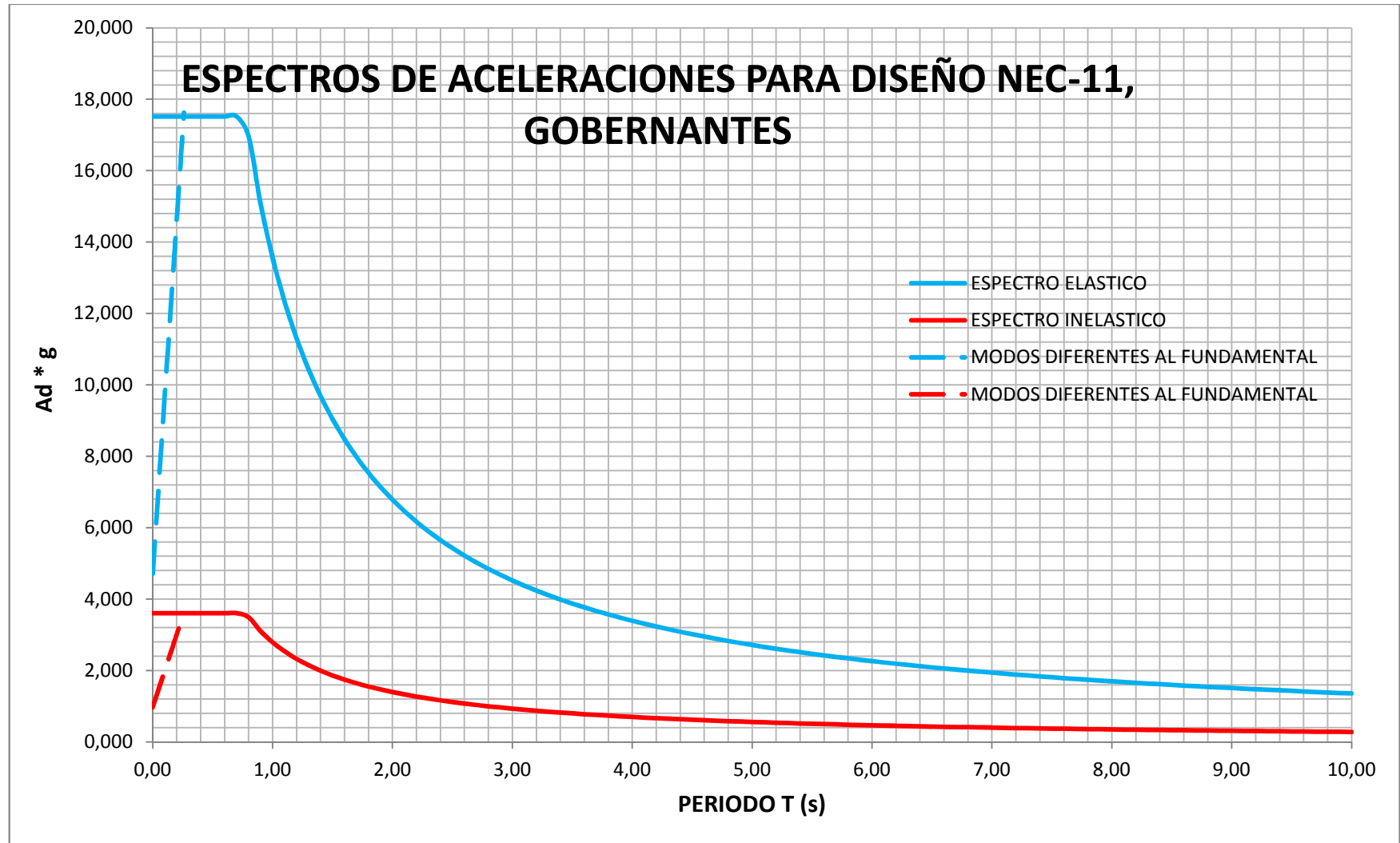


Fig.5.2 Espectro Sísmico de Aceleraciones, Gobernantes

CONSULTA EXTERNA I

ESPECTRO ELÁSTICO	ESPECTRO INELÁSTICO
-------------------	---------------------

Fs=	1,3	To=	0,14	Fs=	1,3	To=	0,14	R=	6
Fd=	1,3	Tc=	0,77	Fd=	1,3	Tc=	0,77	p=	0,9
Fa=	1,2	T=	0,44	Fa=	1,2	T=	0,44	e=	0,9
=	2,48	Z=	0,4	=	2,48	Z=	0,4		
l=	1,5			l=	1,5				
T		Ad	Ad*g	T		Ad	Ad*g		
0,00		1,786	17,517	0,00		0,367	3,604		
0,10		1,786	17,517	0,10		0,367	3,604		
0,20		1,786	17,517	0,20		0,367	3,604		
0,30		1,786	17,517	0,30		0,367	3,604		
0,40		1,786	17,517	0,40		0,367	3,604		
0,50		1,786	17,517	0,50		0,367	3,604		
0,60		1,786	17,517	0,60		0,367	3,604		
0,70		1,786	17,517	0,70		0,367	3,604		
0,80		1,729	16,960	0,80		0,356	3,490		
0,90		1,537	15,076	0,90		0,316	3,102		
1,00		1,383	13,568	1,00		0,285	2,792		
1,10		1,257	12,335	1,10		0,259	2,538		
1,20		1,153	11,307	1,20		0,237	2,327		
1,30		1,064	10,437	1,30		0,219	2,148		
1,40		0,988	9,692	1,40		0,203	1,994		
1,50		0,922	9,045	1,50		0,190	1,861		
1,60		0,864	8,480	1,60		0,178	1,745		
1,70		0,814	7,981	1,70		0,167	1,642		
1,80		0,768	7,538	1,80		0,158	1,551		
1,90		0,728	7,141	1,90		0,150	1,469		
2,00		0,692	6,784	2,00		0,142	1,396		
2,10		0,659	6,461	2,10		0,136	1,329		
2,20		0,629	6,167	2,20		0,129	1,269		
2,30		0,601	5,899	2,30		0,124	1,214		
2,40		0,576	5,653	2,40		0,119	1,163		
2,50		0,553	5,427	2,50		0,114	1,117		
2,60		0,532	5,219	2,60		0,109	1,074		
2,70		0,512	5,025	2,70		0,105	1,034		
2,80		0,494	4,846	2,80		0,102	0,997		
2,90		0,477	4,679	2,90		0,098	0,963		
3,00		0,461	4,523	3,00		0,095	0,931		

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

3,10	0,446	4,377	3,10	0,092	0,901
3,20	0,432	4,240	3,20	0,089	0,872
3,30	0,419	4,112	3,30	0,086	0,846
3,40	0,407	3,991	3,40	0,084	0,821
3,50	0,395	3,877	3,50	0,081	0,798
3,60	0,384	3,769	3,60	0,079	0,776
3,70	0,374	3,667	3,70	0,077	0,755
3,80	0,364	3,571	3,80	0,075	0,735
3,90	0,355	3,479	3,90	0,073	0,716
4,00	0,346	3,392	4,00	0,071	0,698
4,10	0,337	3,309	4,10	0,069	0,681
4,20	0,329	3,231	4,20	0,068	0,665
4,30	0,322	3,155	4,30	0,066	0,649
4,40	0,314	3,084	4,40	0,065	0,635
4,50	0,307	3,015	4,50	0,063	0,620
4,60	0,301	2,950	4,60	0,062	0,607
4,70	0,294	2,887	4,70	0,061	0,594
4,80	0,288	2,827	4,80	0,059	0,582
4,90	0,282	2,769	4,90	0,058	0,570
5,00	0,277	2,714	5,00	0,057	0,558
5,10	0,271	2,660	5,10	0,056	0,547
5,20	0,266	2,609	5,20	0,055	0,537
5,30	0,261	2,560	5,30	0,054	0,527
5,40	0,256	2,513	5,40	0,053	0,517
5,50	0,251	2,467	5,50	0,052	0,508
5,60	0,247	2,423	5,60	0,051	0,499
5,70	0,243	2,380	5,70	0,050	0,490
5,80	0,238	2,339	5,80	0,049	0,481
5,90	0,234	2,300	5,90	0,048	0,473
6,00	0,231	2,261	6,00	0,047	0,465
6,10	0,227	2,224	6,10	0,047	0,458
6,20	0,223	2,188	6,20	0,046	0,450
6,30	0,220	2,154	6,30	0,045	0,443
6,40	0,216	2,120	6,40	0,044	0,436
6,50	0,213	2,087	6,50	0,044	0,430
6,60	0,210	2,056	6,60	0,043	0,423
6,70	0,206	2,025	6,70	0,042	0,417
6,80	0,203	1,995	6,80	0,042	0,411
6,90	0,200	1,966	6,90	0,041	0,405
7,00	0,198	1,938	7,00	0,041	0,399
7,10	0,195	1,911	7,10	0,040	0,393
7,20	0,192	1,884	7,20	0,040	0,388
7,30	0,189	1,859	7,30	0,039	0,382
7,40	0,187	1,834	7,40	0,038	0,377
7,50	0,184	1,809	7,50	0,038	0,372

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

7,60	0,182	1,785
7,70	0,180	1,762
7,80	0,177	1,740
7,90	0,175	1,717
8,00	0,173	1,696
8,10	0,171	1,675
8,20	0,169	1,655
8,30	0,167	1,635
8,40	0,165	1,615
8,50	0,163	1,596
8,60	0,161	1,578
8,70	0,159	1,560
8,80	0,157	1,542
8,90	0,155	1,525
9,00	0,154	1,508
9,10	0,152	1,491
9,20	0,150	1,475
9,30	0,149	1,459
9,40	0,147	1,443
9,50	0,146	1,428
9,60	0,144	1,413
9,70	0,143	1,399
9,80	0,141	1,385
9,90	0,140	1,371
10,00	0,138	1,357

**Tabla 5.7 Espectro elástico,
Cons. Externa I)**

7,60	0,037	0,367
7,70	0,037	0,363
7,80	0,036	0,358
7,90	0,036	0,353
8,00	0,036	0,349
8,10	0,035	0,345
8,20	0,035	0,340
8,30	0,034	0,336
8,40	0,034	0,332
8,50	0,033	0,328
8,60	0,033	0,325
8,70	0,033	0,321
8,80	0,032	0,317
8,90	0,032	0,314
9,00	0,032	0,310
9,10	0,031	0,307
9,20	0,031	0,303
9,30	0,031	0,300
9,40	0,030	0,297
9,50	0,030	0,294
9,60	0,030	0,291
9,70	0,029	0,288
9,80	0,029	0,285
9,90	0,029	0,282
10,00	0,028	0,279

**Tabla 5.8 Espectro inelástico,
Cons. Externa I)**

Para modos de vibración distintos al fundamental y $T < T_0$

PARA MODOS DE VIBRAC DISTAL
FUNADAM

Fs= 1,3	To= 0,14	R= 6
Fd= 1,3	Tc= 0,77	p= 0,9
Fa= 1,2	T= 0,00	e= 0,9
= 2,48	Z= 0,4	

l= 1,5	
T	Ad
0,00	0,480 4,709
0,10	0,984 9,657
0,20	1,489 14,606
0,26	1,797 17,624

T	Ad
0,00	0,099 0,969
0,10	0,203 1,987
0,20	0,306 3,005
0,26	0,369 3,616

Tabla 5.9 Modos de vibración distal fundamental, Cons. Externa I

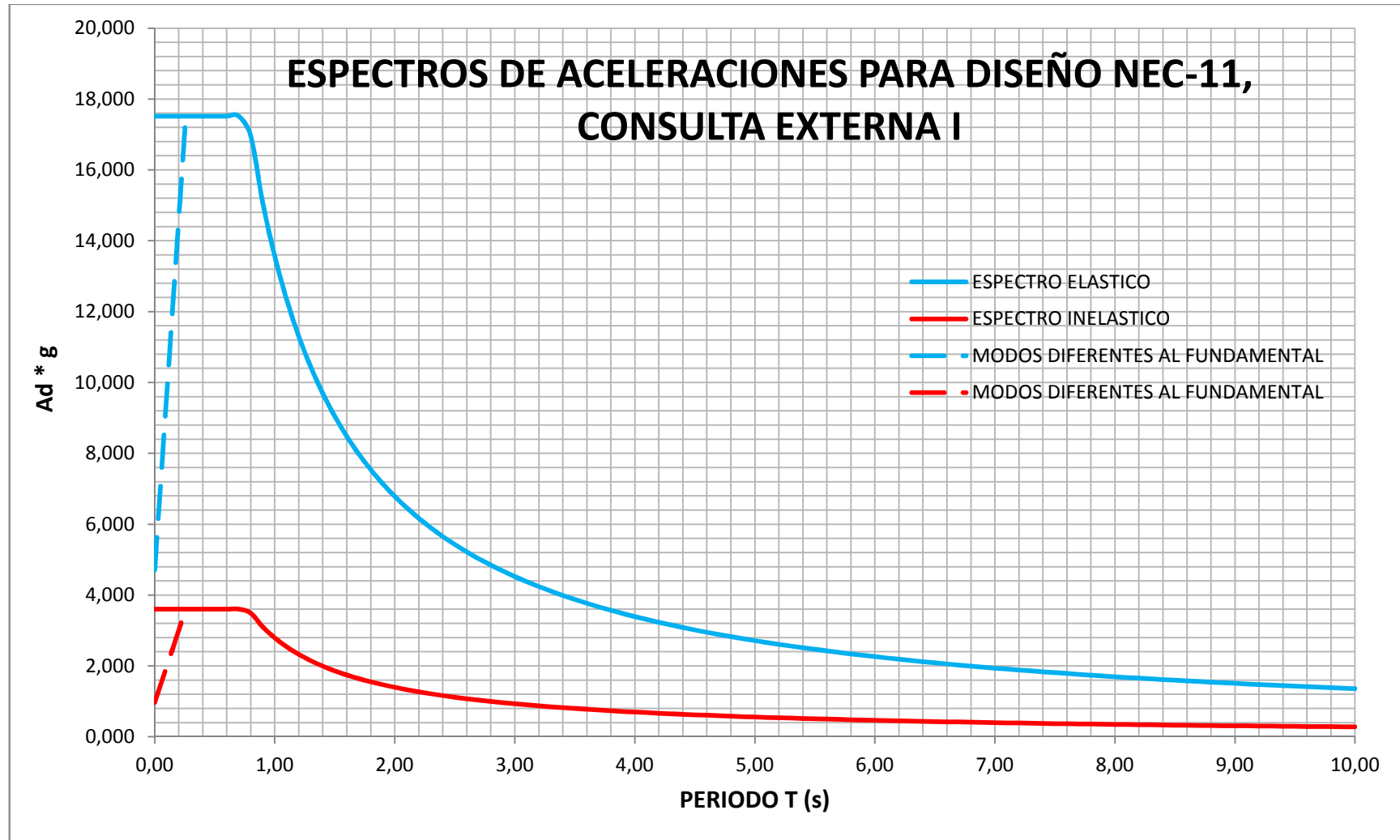


Fig. 5.3. Espectro Sísmico de Aceleraciones, Consulta Externa I

CONSULTA EXTERNA II

ESPECTRO ELÁSTICO	ESPECTRO INELÁSTICO
-------------------	---------------------

Fs=	1,3	To=	0,14	R= 6 0, p= 9 0, e= 9
Fd=	1,3	Tc=	0,77	
Fa=	1,2	T=	0,51	
=	2,48	Z=	0,4	
I=	1,5			
T		Ad	Ad*g	
0,00		1,786	17,517	
0,10		1,786	17,517	
0,20		1,786	17,517	
0,30		1,786	17,517	
0,40		1,786	17,517	
0,50		1,786	17,517	
0,60		1,786	17,517	
0,70		1,786	17,517	
0,80		1,729	16,960	
0,90		1,537	15,076	
1,00		1,383	13,568	
1,10		1,257	12,335	
1,20		1,153	11,307	
1,30		1,064	10,437	
1,40		0,988	9,692	
1,50		0,922	9,045	
1,60		0,864	8,480	
1,70		0,814	7,981	
1,80		0,768	7,538	
1,90		0,728	7,141	
2,00		0,692	6,784	
2,10		0,659	6,461	
2,20		0,629	6,167	
2,30		0,601	5,899	
2,40		0,576	5,653	
2,50		0,553	5,427	
2,60		0,532	5,219	
2,70		0,512	5,025	
2,80		0,494	4,846	
2,90		0,477	4,679	
3,00		0,461	4,523	

Fs=	1,3	To=	0,14	R= 6 0, p= 9 0, e= 9
Fd=	1,3	Tc=	0,77	
Fa=	1,2	T=	0,00	
=	2,48	Z=	0,4	
I=	1,5			
T		Ad	Ad*g	
0,00		0,367	3,604	
0,10		0,367	3,604	
0,20		0,367	3,604	
0,30		0,367	3,604	
0,40		0,367	3,604	
0,50		0,367	3,604	
0,60		0,367	3,604	
0,70		0,367	3,604	
0,80		0,356	3,490	
0,90		0,316	3,102	
1,00		0,285	2,792	
1,10		0,259	2,538	
1,20		0,237	2,327	
1,30		0,219	2,148	
1,40		0,203	1,994	
1,50		0,190	1,861	
1,60		0,178	1,745	
1,70		0,167	1,642	
1,80		0,158	1,551	
1,90		0,150	1,469	
2,00		0,142	1,396	
2,10		0,136	1,329	
2,20		0,129	1,269	
2,30		0,124	1,214	
2,40		0,119	1,163	
2,50		0,114	1,117	
2,60		0,109	1,074	
2,70		0,105	1,034	
2,80		0,102	0,997	
2,90		0,098	0,963	
3,00		0,095	0,931	

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

3,10	0,446	4,377	3,10	0,092	0,901
3,20	0,432	4,240	3,20	0,089	0,872
3,30	0,419	4,112	3,30	0,086	0,846
3,40	0,407	3,991	3,40	0,084	0,821
3,50	0,395	3,877	3,50	0,081	0,798
3,60	0,384	3,769	3,60	0,079	0,776
3,70	0,374	3,667	3,70	0,077	0,755
3,80	0,364	3,571	3,80	0,075	0,735
3,90	0,355	3,479	3,90	0,073	0,716
4,00	0,346	3,392	4,00	0,071	0,698
4,10	0,337	3,309	4,10	0,069	0,681
4,20	0,329	3,231	4,20	0,068	0,665
4,30	0,322	3,155	4,30	0,066	0,649
4,40	0,314	3,084	4,40	0,065	0,635
4,50	0,307	3,015	4,50	0,063	0,620
4,60	0,301	2,950	4,60	0,062	0,607
4,70	0,294	2,887	4,70	0,061	0,594
4,80	0,288	2,827	4,80	0,059	0,582
4,90	0,282	2,769	4,90	0,058	0,570
5,00	0,277	2,714	5,00	0,057	0,558
5,10	0,271	2,660	5,10	0,056	0,547
5,20	0,266	2,609	5,20	0,055	0,537
5,30	0,261	2,560	5,30	0,054	0,527
5,40	0,256	2,513	5,40	0,053	0,517
5,50	0,251	2,467	5,50	0,052	0,508
5,60	0,247	2,423	5,60	0,051	0,499
5,70	0,243	2,380	5,70	0,050	0,490
5,80	0,238	2,339	5,80	0,049	0,481
5,90	0,234	2,300	5,90	0,048	0,473
6,00	0,231	2,261	6,00	0,047	0,465
6,10	0,227	2,224	6,10	0,047	0,458
6,20	0,223	2,188	6,20	0,046	0,450
6,30	0,220	2,154	6,30	0,045	0,443
6,40	0,216	2,120	6,40	0,044	0,436
6,50	0,213	2,087	6,50	0,044	0,430
6,60	0,210	2,056	6,60	0,043	0,423
6,70	0,206	2,025	6,70	0,042	0,417
6,80	0,203	1,995	6,80	0,042	0,411
6,90	0,200	1,966	6,90	0,041	0,405
7,00	0,198	1,938	7,00	0,041	0,399
7,10	0,195	1,911	7,10	0,040	0,393
7,20	0,192	1,884	7,20	0,040	0,388
7,30	0,189	1,859	7,30	0,039	0,382
7,40	0,187	1,834	7,40	0,038	0,377
7,50	0,184	1,809	7,50	0,038	0,372

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

7,60	0,182	1,785
7,70	0,180	1,762
7,80	0,177	1,740
7,90	0,175	1,717
8,00	0,173	1,696
8,10	0,171	1,675
8,20	0,169	1,655
8,30	0,167	1,635
8,40	0,165	1,615
8,50	0,163	1,596
8,60	0,161	1,578
8,70	0,159	1,560
8,80	0,157	1,542
8,90	0,155	1,525
9,00	0,154	1,508
9,10	0,152	1,491
9,20	0,150	1,475
9,30	0,149	1,459
9,40	0,147	1,443
9,50	0,146	1,428
9,60	0,144	1,413
9,70	0,143	1,399
9,80	0,141	1,385
9,90	0,140	1,371
10,00	0,138	1,357

**Tabla 5.10 Espectro elástico,
Cons. Externa II)**

7,60	0,037	0,367
7,70	0,037	0,363
7,80	0,036	0,358
7,90	0,036	0,353
8,00	0,036	0,349
8,10	0,035	0,345
8,20	0,035	0,340
8,30	0,034	0,336
8,40	0,034	0,332
8,50	0,033	0,328
8,60	0,033	0,325
8,70	0,033	0,321
8,80	0,032	0,317
8,90	0,032	0,314
9,00	0,032	0,310
9,10	0,031	0,307
9,20	0,031	0,303
9,30	0,031	0,300
9,40	0,030	0,297
9,50	0,030	0,294
9,60	0,030	0,291
9,70	0,029	0,288
9,80	0,029	0,285
9,90	0,029	0,282
10,00	0,028	0,279

**Tabla 5.11 Espectro inelástico,
Cons. Externa II)**

Para modos de vibración distintos al fundamental y $T < T_0$

PARA MODOS DE VIBRAC DISTAL
FUNADAM

Fs= 1,3	To= 0,14	R= 6
Fd= 1,3	Tc= 0,77	p= 0,9
Fa= 1,2	T= 0,00	e= 0,9
= 2,48	Z= 0,4	

l= 1,5	
T	Ad
0,00	0,480 4,709
0,10	0,984 9,657
0,20	1,489 14,606
0,26	1,797 17,624

T	Ad
0,00	0,099 0,969
0,10	0,203 1,987
0,20	0,306 3,005
0,26	0,369 3,616

Tabla 5.12 Modos de vibración distal fundamental, Cons. Externa II

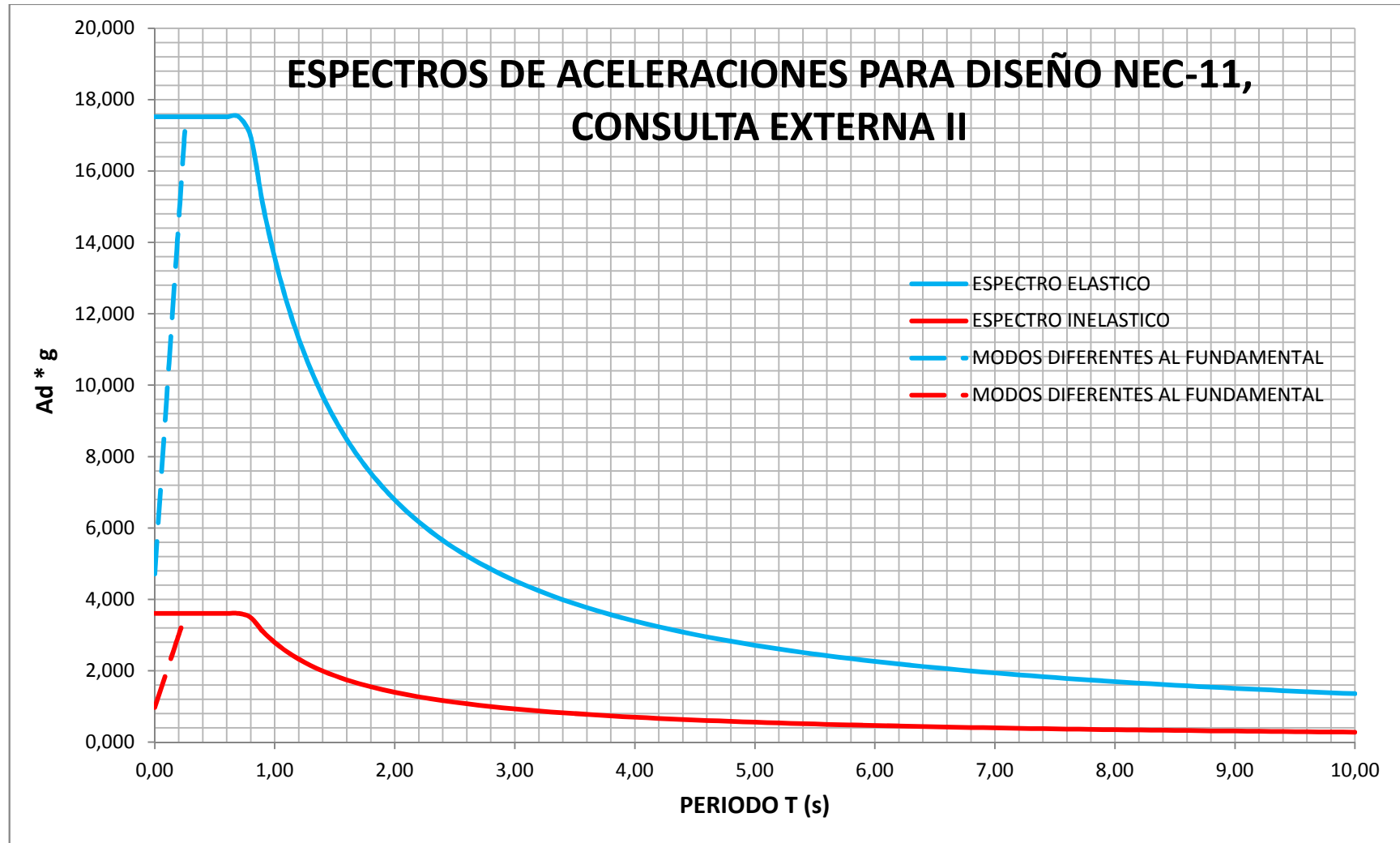


Fig. 5.4. Espectro Sísmico de Aceleraciones, Consulta Externa II

5.3. FUERZAS SÍSMICAS ESTÁTICAS SEGÚN CEC 2002

Para obtener los valores de comparación de fuerzas, se calculará las fuerzas sísmicas estáticas, diferenciándolas para cada edificio con el procedimiento descrito en el capítulo cuatro.

HALL CENTRAL

CUADRO DE AREAS Y PESOS ACUMULADO 100%D+25%L					
COLUMNA	LOSA TIPO	TERRAZA	TAPAGRADA	P (Ton)	TIPO
J'8 diaf	22,06	22,06	21,87	188,30	VI*
J'9 diaf	35,35	35,35	27,27	295,75	VII*
J'10	20,18	20,18	0,00	157,02	IV*
J'11 diaf	42,71	42,71	0,00	332,22	XI*
J'12 diaf	25,67	25,67	0,00	199,65	X*
J'12'diaf	13,01	13,01	0,00	101,20	VIII
L8	25,00	25,00	28,62	216,24	III*
L9	32,44	32,44	28,34	273,92	II*
L10	39,95	39,95	0,00	310,80	I
M8	30,15	30,15	0,00	234,53	V*
M9	43,33	43,33	0,00	337,09	I*
M10	30,49	30,49	0,00	237,16	I
M11	43,23	43,23	0,00	336,31	I
M12	43,03	43,03	0,00	334,73	I
M12'diaf	8,89	8,89	0,00	69,13	X
N8	25,41	25,41	0,00	197,65	V
N9	35,22	35,22	0,00	273,94	I
N10	21,87	21,87	0,00	170,09	I
N11	34,80	34,80	0,00	270,70	I
N12	38,31	38,31	0,00	298,01	I
O8 diaf	27,34	27,34	0,00	212,69	VIII*
O9 diaf	33,20	18,37	0,00	246,12	IX*
O10 diaf	28,21	13,38	0,00	207,33	IX
O11 diaf	22,25	22,25	0,00	173,09	IX
O12 diaf	17,76	17,76	0,00	138,17	XII*
SUMA	739,85	710,19	106,10	5811,84	

Tabla 5.13 Cuadro de áreas y pesos acumulado, Hall Central CEC2002

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

COEFICIENTE SÍSMICO CEC 2002

PARÁMETROS

$Z = 0,482$ $\phi_p = 0,8$ Tabla 4,2
 $I = 1,5$ Tabla 4,4 $\phi_e = 1$ Tabla 4,3
 $R = 12$ Tabla 4,5

 $S = 1,2$ Tabla 4,1 $T = 0,725$ s
 $C_m = 3,0$ Tabla 4,1 $C = 2,146$
 $C_t = 0,06$
 $H = 27,72$ m

COEFICIENTE

$$\text{Coef} = \frac{Z * I * C}{R * \phi_p * \phi_e}$$

Coef= 0,162 en los dos sentidos

CORTANTE BASAL DE DISEÑO

$$V = \frac{Z * I * C}{R * \phi_p * \phi_e} * W$$

$V = 0,162 * 5811,84$

$V = 942$ Ton

GOBERNANTES:

CUADRO DE AREAS Y PESOS ACUMULADO D+0,25L								
COLUMNA	N+3,96	N+7,92	N+11,88	N+15,84	N+19,80 (terrazza)	N+23,76 (tapagrada)	P (Ton)	TIPO
L1	17,28	17,28	19,16	23,05	28,83	3,10	87,66	I
L2	29,78	29,78	29,78	29,78	29,78	3,10	123,48	I
L3	29,78	29,78	29,78	29,78	29,78	3,10	123,48	I
L4	20,19	20,19	20,19	20,19	20,19	15,42	93,59	I
L5	20,09	20,09	20,09	20,09	20,09	15,42	93,19	I
L6	29,79	29,79	29,79	29,79	29,79	3,10	123,52	I*
L7	17,51	17,51	17,51	17,51	17,51	1,60	72,45	IV
M1	29,79	29,79	33,55	41,53	53,28	3,10	154,06	II*
M2	40,81	40,81	40,81	40,81	40,81		166,10	III
M3	40,81	40,81	40,81	40,81	40,81		166,10	III
M4	51,03	51,03	51,03	51,03	51,03		207,69	III
M5	40,81	40,81	40,81	40,81	40,81		166,10	III
M6	40,81	40,81	40,81	40,81	40,81		166,10	III
M7	29,79	29,79	29,79	29,79	29,79	3,10	123,52	IV*
N1	29,79	29,79	33,55	41,53	53,28	3,10	154,06	II
N2	40,80	40,80	40,80	40,80	40,80		166,04	III
N3	40,80	40,80	40,80	40,80	40,80		166,04	III

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

N4	51,75	51,75	51,75	51,75	51,75		210,61	III*
N5	40,81	40,81	40,81	40,81	40,81		166,10	III
N6	40,80	40,80	40,80	40,80	40,80		166,06	III
N7	29,79	29,79	29,79	29,79	29,79	3,10	123,52	IV
O1	17,28	17,28	19,16	23,05	28,83	3,10	87,66	I
O2	29,78	29,78	29,78	29,78	29,78	3,10	123,48	I
O3	29,78	29,78	29,78	29,78	29,78	3,10	123,48	I
O4	29,78	29,78	29,78	29,78	29,78	3,10	123,48	I
O5	29,78	29,78	29,78	29,78	29,78	3,10	123,48	I
O6	29,78	29,78	29,78	29,78	29,78	3,10	123,48	I
O7	17,28	17,28	17,28	17,28	17,28	1,60	71,51	IV
SUMA	896,22	896,22	907,50	931,26	966,30	77,44	3796,07	

Tabla 5.14 Cuadro de áreas y pesos acumulados, Gober. CEC 2002

COEFICIENTE SÍSMICO CEC 2002	
PARÁMETROS	
Z= 0,482	$\phi_p = 0,9$ Tabla 4,2
I= 1,5 Tabla 4,4	$\phi_e = 0,9$ Tabla 4,3
R= 10 Tabla 4,5	
S= 1,2 Tabla 4,1	T= 0,861 s
Cm= 3,0 Tabla 4,1	C= 1,807
Ct= 0,08	
H= 23,76 m	

COEFICIENTE
$\text{Coef} = \frac{Z * I * C}{R * \phi_p * \phi_e}$
Coef= 0,1613 en los dos sentidos
CORTANTE BASAL DE DISEÑO
$V = \frac{Z * I * C}{R * \phi_p * \phi_e} * W$
V= 0,1613 * 3796,07
V= 612,27 Ton

CONSULTA EXTERNA UNO (CAFETERÍA):

CUADRO DE AREAS Y PESOS ACUMULADO 100%D+25%L					
COLUMNA	N+3,96	N+7,92	N+11,88	P (Ton)	TIPO
P38	1,99	9,44	0,00	13,98	I*
P39	3,31	3,31	0,00	8,14	I
P40	3,31	3,31	0,00	8,14	I*
P41	8,20	8,20	4,92	25,53	II
P42	12,20	8,66	8,66	35,13	II*
Q38	12,48	12,48	12,48	44,30	III
Q39	23,04	23,04	23,04	81,79	III
Q40	23,04	23,04	23,04	81,79	III
Q41	30,15	30,15	30,15	107,03	III
Q42	37,79	18,91	18,91	90,54	VI
Q43''	19,75	0,00	0,00	24,49	VII
R38	23,40	23,40	23,40	83,07	III
R39	43,20	43,20	43,20	153,36	III*
R40	43,20	43,20	43,20	153,36	III
R41	43,20	43,20	43,20	153,36	III
R42	46,10	46,10	46,10	163,66	VI*
R43'	22,56	0,00	0,00	27,97	VII*
S38	23,40	23,40	23,40	83,07	III
S39	43,20	43,20	43,20	153,36	III
S40	43,20	43,20	43,20	153,36	III
S41	43,20	43,20	43,20	153,36	III
S42	30,25	23,10	23,10	90,87	III
T38	13,15	13,15	13,15	46,68	III
T39	23,04	23,04	23,04	81,79	III
T40	23,04	23,04	23,04	81,79	III
T41	23,04	23,04	23,04	81,79	III
T42	12,48	12,48	12,48	44,30	III
T43	5,59	5,59	5,59	19,84	IV
U38	13,15	13,15	13,15	46,68	III
U39	23,04	23,04	23,04	81,79	III
U40	23,04	23,04	23,04	81,79	III
U41	23,04	23,04	23,04	81,79	III
U42	29,95	29,95	29,95	106,32	III
U43	11,40	11,40	11,40	40,47	IV*
V38	12,87	12,87	12,87	45,69	V
V39	23,76	23,76	23,76	84,35	V*
V40	23,76	23,76	23,76	84,35	V
V41	23,76	23,76	23,76	84,35	V
V42	18,65	18,65	18,65	66,21	V
V43	7,10	7,10	7,10	25,21	IV
SUMA	914,03	849,60	830,26	3074,89	

Tabla 5.15 Cuadro de áreas y pesos acumulados, Cons. Externa I CEC2002

COEFICIENTE SÍSMICO CEC 2002

PARÁMETROS

$Z = 0,482$ $\phi_p = 0,9$ Tabla 4,2
 $I = 1,5$ Tabla 4,4 $\phi_e = 0,9$ Tabla 4,3
 $R = 10$ Tabla 4,5

 $S = 1,2$ Tabla 4,1 $T = 0,512$ s
 $C_m = 3,0$ Tabla 4,1 $C = 3,039$
 $C_t = 0,08$
 $H = 11,88$ m

COEFICIENTE

$$\text{Coef} = \frac{Z * I * C}{R * \phi_p * \phi_e}$$

Coef= 0,268 en los dos sentidos

CORTANTE BASAL DE DISEÑO

$$V = \frac{Z * I * C}{R * \phi_p * \phi_e} * W$$

$V = 0,268 * 3074,89$

$V = 823,39$ Ton

CONSULTA EXTERNA DOS (AUDITORIO):

CUADRO DE AREAS Y PESOS ACUMULADO 100%D+25%L					
COLUMNA	N+3,96	N+7,92	N+11,88	P (Ton)	TIPO
V'38	12,87	12,87	12,87	45,69	V
V'39	23,76	23,76	23,76	84,35	V*
V'40	23,76	23,76	23,76	84,35	V
V'41	23,76	23,76	23,76	84,35	V
V'42	12,87	12,87	12,87	45,69	V
W38	23,40	23,40	23,40	83,07	VIII
W39	43,20	43,20	43,20	153,36	VIII*
W40	43,20	43,20	43,20	153,36	VIII
W41	43,20	43,20	43,20	153,36	VIII
W42	29,87	29,87	29,87	106,04	VIII
W43	6,47	6,47	6,47	22,97	XIII
X38	13,67	13,67	13,67	48,53	VIII
X39	23,88	23,88	23,88	84,77	VIII
X40	23,88	23,88	23,88	84,77	VIII

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

X41	31,02	31,02	31,02	110,12	VIII
X42	26,91	26,91	26,91	95,53	VIII
X43	6,71	6,71	6,71	23,82	XIII
Y38	13,67	13,67	3,52	37,47	XIII
Y39	23,88	23,88	4,17	63,29	XIII
Y40	23,88	23,88	4,17	63,29	XIII
Y41	31,02	31,02	22,05	100,34	XIII*
Y42	26,91	26,91	26,91	95,53	XIII
Y43	6,71	6,71	6,71	23,82	XII
Z38	23,40	23,40	2,40	60,18	X
Z39	43,20	43,20	0,00	106,27	IX*
Z40	43,20	43,20	0,00	106,27	IX
Z41	43,20	43,20	22,80	131,12	X*
Z42	35,16	29,77	29,77	112,37	VIII
Z43	11,76	6,35	6,35	29,25	XII
AA38	19,50	19,50	2,40	50,59	X
AA39	42,60	42,60	0,00	104,80	IX
AA40	43,20	43,20	0,00	106,27	IX
AA41	43,20	43,20	22,80	131,12	X
AA42	34,36	29,10	29,10	109,83	VIII
AA43	9,80	4,51	4,51	22,57	XII
BB38	19,35	19,35	3,52	51,44	XI
BB39	21,78	21,78	4,17	58,12	X
BB40	23,76	23,76	4,17	62,99	X
BB41	23,76	23,76	22,05	82,48	X
BB42	16,70	16,70	16,70	59,29	XI*
BB43	11,87	11,87	11,87	42,14	XII*
BB38 diaf	19,35	19,35	11,87	60,54	XIV*
BB43 diaf	11,87	11,87	11,87	42,14	XIV
SUMA	1048,30	1026,95	662,57	3274,97	

Tabla 5.16 Cuadro de áreas y pesos acumulados, Cons. Externa II CEC2002

COEFICIENTE SÍSMICO CEC
2002

PARÁMETROS

Z= 0,482 p= 0,9 Tabla 4,2
 I= 1,5 Tabla 4,4 e= 0,9 Tabla 4,3
 R= 10 Tabla 4,5

 S= 1,2 Tabla 4,1 T= 0,582 s
 Cm= 3,0 Tabla 4,1 C= 2,673
 Ct= 0,08

 M
 H= 14,1

COEFICIENTE

$$\text{Coef} = \frac{Z * I * C}{R * p * e}$$

Coef= 0,239 en los dos sentidos

CORTANTE BASAL DE
DISEÑO

$$V = \frac{Z * I * C}{R * p * e} * W$$

$$V = 0,239 * 3274,97$$

$$V = 781,24 \text{ Ton}$$

5.4. ESPECTRO SÍSMICO ELÁSTICO DE ACELERACIONES SEGÚN EL CEC 2002

Se presentan los dos espectros: el espectro elástico y el inelástico, los mismos que han sido calculados con los procedimientos descritos en el capítulo IV.

Los espectros sísmicos de aceleraciones se han calculado para cada edificio, con los períodos, alturas y coeficientes propios de cada estructura, dando como resultado las tablas de cálculo y los gráficos correspondientes que se exponen a continuación:

HALL CENTRAL:

Tablas de cálculo:

ESPECTRO ELÁSTICO	ESPECTRO INELÁSTICO
-------------------	---------------------

Z=	0,482	S=	1,2
I=	1,5	hn=	27,72
Cm=	2,146	T=	

Z=	0,482	S=	1,2	R=	12
I=	1,5	hn=	27,72	p	0,8
Cm=	2,146	T=		e	1

T	Ad	Ad*g
---	----	------

T	Ad	Ad*g
---	----	------

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

0,00	2,169	21,278	0,00	0,226	2,216
0,10	2,169	21,278	0,10	0,226	2,216
0,20	2,169	21,278	0,20	0,226	2,216
0,30	2,169	21,278	0,30	0,226	2,216
0,40	2,169	21,278	0,40	0,226	2,216
0,50	2,169	21,278	0,50	0,226	2,216
0,60	1,875	18,390	0,60	0,195	1,916
0,70	1,607	15,763	0,70	0,167	1,642
0,80	1,406	13,793	0,80	0,146	1,437
0,90	1,250	12,260	0,90	0,130	1,277
1,00	1,125	11,034	1,00	0,117	1,149
1,10	1,023	10,031	1,10	0,107	1,045
1,20	0,937	9,195	1,20	0,098	0,958
1,30	0,865	8,488	1,30	0,090	0,884
1,40	0,803	7,881	1,40	0,084	0,821
1,50	0,750	7,356	1,50	0,078	0,766
1,60	0,703	6,896	1,60	0,073	0,718
1,70	0,662	6,491	1,70	0,069	0,676
1,80	0,625	6,130	1,80	0,065	0,639
1,90	0,592	5,807	1,90	0,062	0,605
2,00	0,562	5,517	2,00	0,059	0,575
2,10	0,536	5,254	2,10	0,056	0,547
2,20	0,511	5,015	2,20	0,053	0,522
2,30	0,489	4,797	2,30	0,051	0,500
2,40	0,469	4,598	2,40	0,049	0,479
2,50	0,450	4,414	2,50	0,047	0,460
2,60	0,433	4,244	2,60	0,045	0,442
2,70	0,417	4,087	2,70	0,043	0,426
2,80	0,402	3,941	2,80	0,042	0,410
2,90	0,388	3,805	2,90	0,040	0,396
3,00	0,375	3,678	3,00	0,039	0,383
3,10	0,363	3,559	3,10	0,038	0,371
3,20	0,362	3,546	3,20	0,038	0,369
4,70	0,362	3,546	4,70	0,038	0,369
4,80	0,362	3,546	4,80	0,038	0,369
4,90	0,362	3,546	4,90	0,038	0,369
5,00	0,362	3,546	5,00	0,038	0,369
5,10	0,362	3,546	5,10	0,038	0,369
5,20	0,362	3,546	5,20	0,038	0,369
5,30	0,362	3,546	5,30	0,038	0,369
5,40	0,362	3,546	5,40	0,038	0,369
5,50	0,362	3,546	5,50	0,038	0,369
5,60	0,362	3,546	5,60	0,038	0,369
5,70	0,362	3,546	5,70	0,038	0,369
6,90	0,362	3,546	6,90	0,038	0,369

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

7,00	0,362	3,546
7,10	0,362	3,546
7,20	0,362	3,546
7,30	0,362	3,546
7,40	0,362	3,546
7,50	0,362	3,546
7,60	0,362	3,546
7,70	0,362	3,546
7,80	0,362	3,546
7,90	0,362	3,546
8,00	0,362	3,546
8,10	0,362	3,546
8,20	0,362	3,546
8,30	0,362	3,546
8,40	0,362	3,546
8,50	0,362	3,546
9,40	0,362	3,546
9,50	0,362	3,546
9,60	0,362	3,546
9,70	0,362	3,546
9,80	0,362	3,546
9,90	0,362	3,546
10,00	0,362	3,546

Tabla 5.17 Espectro elástico, Hall Central CEC2002)

7,00	0,038	0,369
7,10	0,038	0,369
7,20	0,038	0,369
7,30	0,038	0,369
7,40	0,038	0,369
7,50	0,038	0,369
7,60	0,038	0,369
7,70	0,038	0,369
7,80	0,038	0,369
7,90	0,038	0,369
8,00	0,038	0,369
8,10	0,038	0,369
8,20	0,038	0,369
8,30	0,038	0,369
8,40	0,038	0,369
8,50	0,038	0,369
9,40	0,038	0,369
9,50	0,038	0,369
9,60	0,038	0,369
9,70	0,038	0,369
9,80	0,038	0,369
9,90	0,038	0,369
10,00	0,038	0,369

Tabla 5.18 Espectro inelástico, Hall Central CEC2002)

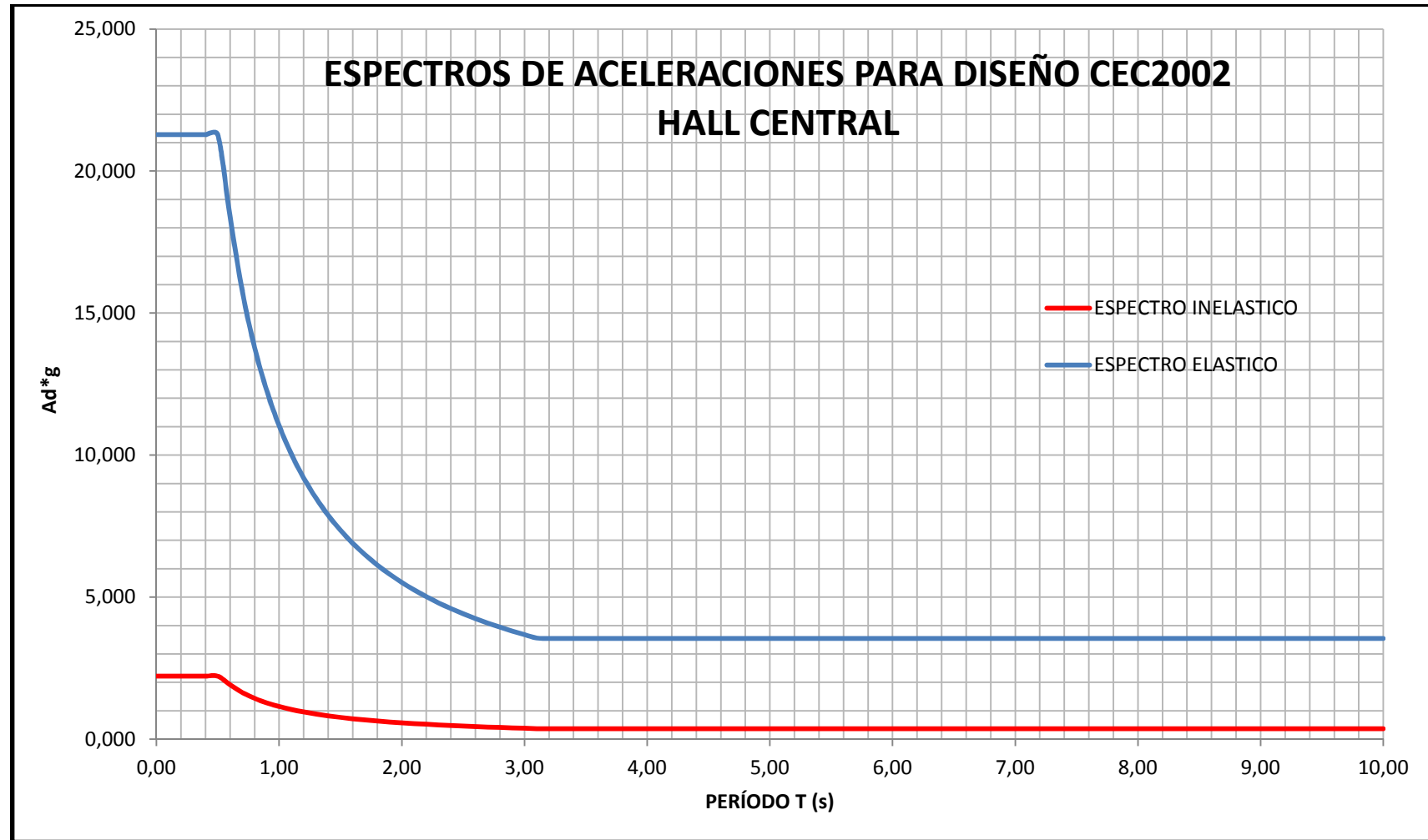


Fig. 5.5 Espectro de Aceleración, Hall Central CEC 2002

GOBERNANTES:

ESPECTRO ELÁSTICO	ESPECTRO INELÁSTICO
-------------------	---------------------

Z=	0,482	S=	1,2
I=	1,5	hn=	23,76
Ct=	0,06	T=	0,646

Z=	0,482	S=	1,2	R=	10
I=	1,5	hn=	23,76	p=	0,9
Ct=	0,06	T=		e=	0,9

T	Ad	Ad*g
0,00	2,169	21,278
0,10	2,169	21,278
0,20	2,169	21,278
0,30	2,169	21,278
0,40	2,169	21,278
0,50	2,169	21,278
0,60	1,875	18,390
0,70	1,607	15,763
0,80	1,406	13,793
0,90	1,250	12,260
1,00	1,125	11,034
1,10	1,023	10,031
1,20	0,937	9,195
1,30	0,865	8,488
1,40	0,803	7,881
1,50	0,750	7,356
1,60	0,703	6,896
1,70	0,662	6,491
1,80	0,625	6,130
1,90	0,592	5,807
2,00	0,562	5,517
2,10	0,536	5,254
2,20	0,511	5,015
2,30	0,489	4,797
2,40	0,469	4,598
2,50	0,450	4,414
2,60	0,433	4,244
2,70	0,417	4,087
2,80	0,402	3,941
2,90	0,388	3,805
3,00	0,375	3,678
3,10	0,363	3,559

T	Ad	Ad*g
0,00	0,268	2,627
0,10	0,268	2,627
0,20	0,268	2,627
0,30	0,268	2,627
0,40	0,268	2,627
0,50	0,268	2,627
0,60	0,231	2,270
0,70	0,198	1,946
0,80	0,174	1,703
0,90	0,154	1,514
1,00	0,139	1,362
1,10	0,126	1,238
1,20	0,116	1,135
1,30	0,107	1,048
1,40	0,099	0,973
1,50	0,093	0,908
1,60	0,087	0,851
1,70	0,082	0,801
1,80	0,077	0,757
1,90	0,073	0,717
2,00	0,069	0,681
2,10	0,066	0,649
2,20	0,063	0,619
2,30	0,060	0,592
2,40	0,058	0,568
2,50	0,056	0,545
2,60	0,053	0,524
2,70	0,051	0,505
2,80	0,050	0,487
2,90	0,048	0,470
3,00	0,046	0,454
3,10	0,045	0,439

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

3,20	0,362	3,546
4,70	0,362	3,546
4,80	0,362	3,546
4,90	0,362	3,546
5,00	0,362	3,546
5,10	0,362	3,546
5,20	0,362	3,546
5,30	0,362	3,546
5,40	0,362	3,546
5,50	0,362	3,546
5,60	0,362	3,546
5,70	0,362	3,546
6,90	0,362	3,546
7,00	0,362	3,546
7,10	0,362	3,546
7,20	0,362	3,546
7,30	0,362	3,546
7,40	0,362	3,546
7,50	0,362	3,546
7,60	0,362	3,546
7,70	0,362	3,546
7,80	0,362	3,546
7,90	0,362	3,546
8,00	0,362	3,546
8,10	0,362	3,546
8,20	0,362	3,546
8,30	0,362	3,546
8,40	0,362	3,546
8,50	0,362	3,546
9,40	0,362	3,546
9,50	0,362	3,546
9,60	0,362	3,546
9,70	0,362	3,546
9,80	0,362	3,546
9,90	0,362	3,546
10,00	0,362	3,546

Tabla 5.19 Espectro elástico,
Gober. CEC2002)

3,20	0,045	0,438
4,70	0,045	0,438
4,80	0,045	0,438
4,90	0,045	0,438
5,00	0,045	0,438
5,10	0,045	0,438
5,20	0,045	0,438
5,30	0,045	0,438
5,40	0,045	0,438
5,50	0,045	0,438
5,60	0,045	0,438
5,70	0,045	0,438
6,90	0,045	0,438
7,00	0,045	0,438
7,10	0,045	0,438
7,20	0,045	0,438
7,30	0,045	0,438
7,40	0,045	0,438
7,50	0,045	0,438
7,60	0,045	0,438
7,70	0,045	0,438
7,80	0,045	0,438
7,90	0,045	0,438
8,00	0,045	0,438
8,10	0,045	0,438
8,20	0,045	0,438
8,30	0,045	0,438
8,40	0,045	0,438
8,50	0,045	0,438
9,40	0,045	0,438
9,50	0,045	0,438
9,60	0,045	0,438
9,70	0,045	0,438
9,80	0,045	0,438
9,90	0,045	0,438
10,00	0,045	0,438

Tabla 5.20 Espectro inelástico,
Gober. CEC2002)

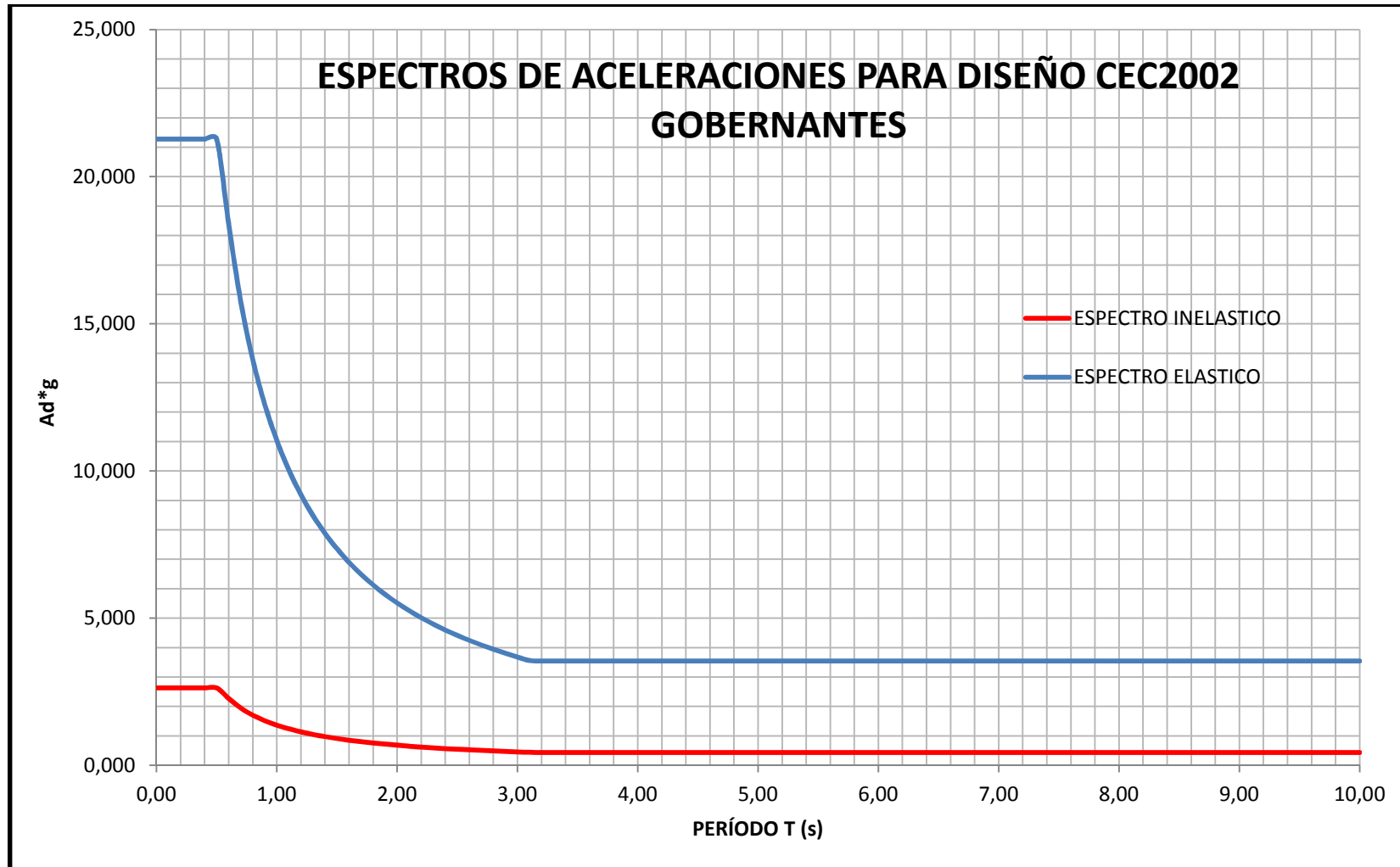


Fig. 5.6 Espectro de Aceleración, Gobernantes CEC 2002

CONSULTA EXTERNA UNO (CAFETERÍA)

ESPECTRO ELASTICO	ESPECTRO INELÁSTICO
-------------------	---------------------

Z	0,482	S	1,2
I	1,5	hn	11,88
Ct	0,06	T	0,384

Z	0,482	S	1,2	R	10
I	1,5	hn	11,88	p	0,9
Ct	0,06	T		e	0,9

T	Ad	Ad*g
0,00	2,169	21,278
0,10	2,169	21,278
0,20	2,169	21,278
0,30	2,169	21,278
0,40	2,169	21,278
0,50	2,169	21,278
0,60	1,875	18,390
0,70	1,607	15,763
0,80	1,406	13,793
0,90	1,250	12,260
1,00	1,125	11,034
1,10	1,023	10,031
1,20	0,937	9,195
1,30	0,865	8,488
1,40	0,803	7,881
1,50	0,750	7,356
1,60	0,703	6,896
1,70	0,662	6,491
1,80	0,625	6,130
1,90	0,592	5,807
2,00	0,562	5,517
2,10	0,536	5,254
2,20	0,511	5,015
2,30	0,489	4,797
2,40	0,469	4,598
2,50	0,450	4,414
2,60	0,433	4,244
2,70	0,417	4,087
2,80	0,402	3,941
2,90	0,388	3,805
3,00	0,375	3,678
3,10	0,363	3,559

T	Ad	Ad*g
0,00	0,268	2,627
0,10	0,268	2,627
0,20	0,268	2,627
0,30	0,268	2,627
0,40	0,268	2,627
0,50	0,268	2,627
0,60	0,231	2,270
0,70	0,198	1,946
0,80	0,174	1,703
0,90	0,154	1,514
1,00	0,139	1,362
1,10	0,126	1,238
1,20	0,116	1,135
1,30	0,107	1,048
1,40	0,099	0,973
1,50	0,093	0,908
1,60	0,087	0,851
1,70	0,082	0,801
1,80	0,077	0,757
1,90	0,073	0,717
2,00	0,069	0,681
2,10	0,066	0,649
2,20	0,063	0,619
2,30	0,060	0,592
2,40	0,058	0,568
2,50	0,056	0,545
2,60	0,053	0,524
2,70	0,051	0,505
2,80	0,050	0,487
2,90	0,048	0,470
3,00	0,046	0,454
3,10	0,045	0,439

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

3,20	0,362	3,546
4,70	0,362	3,546
4,80	0,362	3,546
4,90	0,362	3,546
5,00	0,362	3,546
5,10	0,362	3,546
5,20	0,362	3,546
5,30	0,362	3,546
5,40	0,362	3,546
5,50	0,362	3,546
5,60	0,362	3,546
5,70	0,362	3,546
6,90	0,362	3,546
7,00	0,362	3,546
7,10	0,362	3,546
7,20	0,362	3,546
7,30	0,362	3,546
7,40	0,362	3,546
7,50	0,362	3,546
7,60	0,362	3,546
7,70	0,362	3,546
7,80	0,362	3,546
7,90	0,362	3,546
8,00	0,362	3,546
8,10	0,362	3,546
8,20	0,362	3,546
8,30	0,362	3,546
8,40	0,362	3,546
8,50	0,362	3,546
9,40	0,362	3,546
9,50	0,362	3,546
9,60	0,362	3,546
9,70	0,362	3,546
9,80	0,362	3,546
9,90	0,362	3,546
10,00	0,362	3,546

Tabla 5.21 Espectro elástico, Cons. Externa I CEC2002)

3,20	0,045	0,438
4,70	0,045	0,438
4,80	0,045	0,438
4,90	0,045	0,438
5,00	0,045	0,438
5,10	0,045	0,438
5,20	0,045	0,438
5,30	0,045	0,438
5,40	0,045	0,438
5,50	0,045	0,438
5,60	0,045	0,438
5,70	0,045	0,438
6,90	0,045	0,438
7,00	0,045	0,438
7,10	0,045	0,438
7,20	0,045	0,438
7,30	0,045	0,438
7,40	0,045	0,438
7,50	0,045	0,438
7,60	0,045	0,438
7,70	0,045	0,438
7,80	0,045	0,438
7,90	0,045	0,438
8,00	0,045	0,438
8,10	0,045	0,438
8,20	0,045	0,438
8,30	0,045	0,438
8,40	0,045	0,438
8,50	0,045	0,438
9,40	0,045	0,438
9,50	0,045	0,438
9,60	0,045	0,438
9,70	0,045	0,438
9,80	0,045	0,438
9,90	0,045	0,438
10,00	0,045	0,438

Tabla 5.22 Espectro inelástico, Cons. Externa I CEC2002)

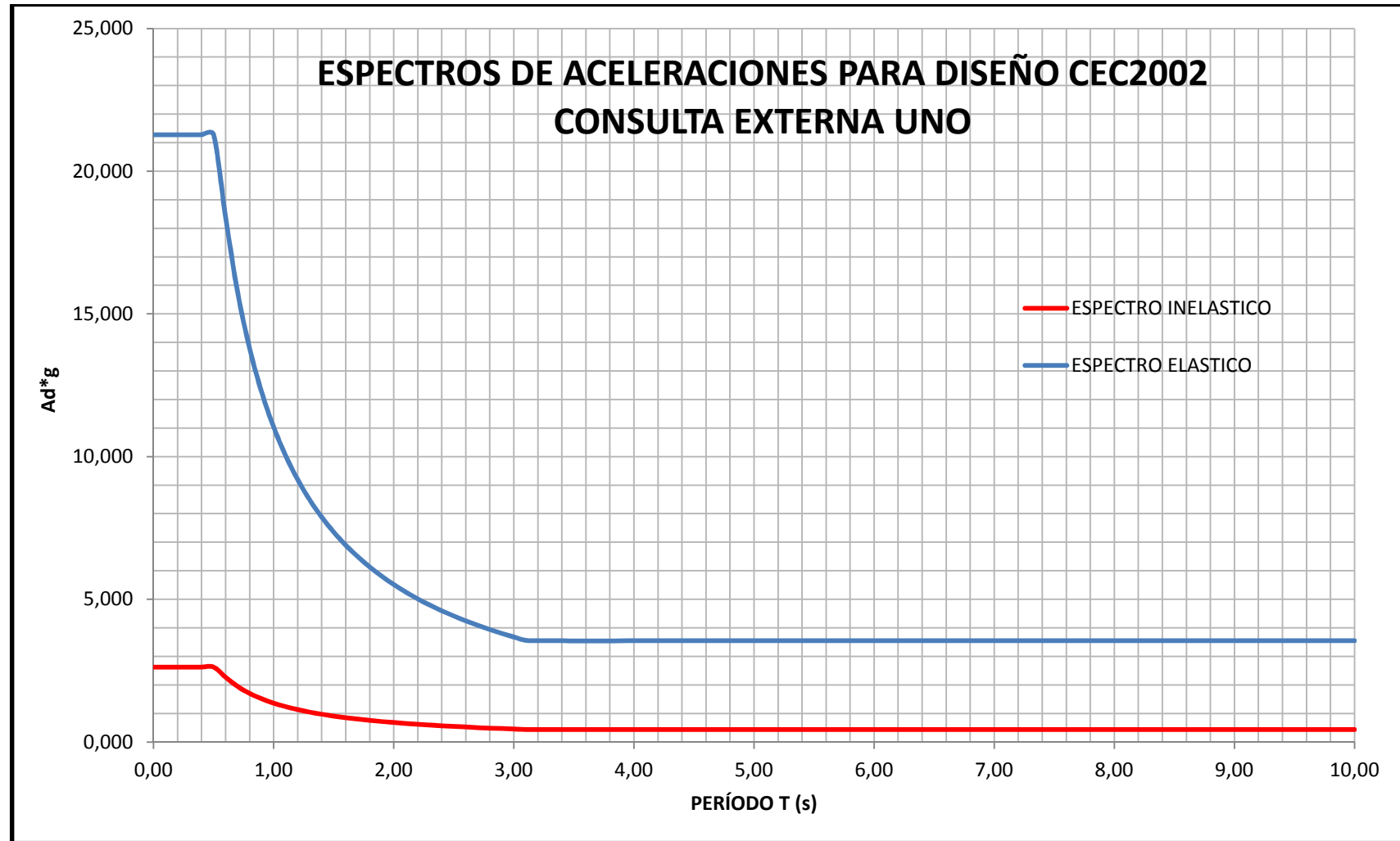


Fig. 5.7 Espectro de Aceleración, Consulta Externa ICEC 2002

CONSULTA EXTERNA DOS (AUDITORIO):

ESPECTRO ELASTICO	ESPECTRO INELÁSTICO
-------------------	---------------------

Z	0,482	S	1,2
I	1,5	hn	14,10
Ct	0,06	T	0,437

Z	0,482	S	1,2	R	10
I	1,5	hn	14,1	p	0,9
Ct	0,06	T		e	0,9

T	Ad	Ad*g
0,00	2,169	21,278
0,10	2,169	21,278
0,20	2,169	21,278
0,30	2,169	21,278
0,40	2,169	21,278
0,50	2,169	21,278
0,60	1,875	18,390
0,70	1,607	15,763
0,80	1,406	13,793
0,90	1,250	12,260
1,00	1,125	11,034
1,10	1,023	10,031
1,20	0,937	9,195
1,30	0,865	8,488
1,40	0,803	7,881
1,50	0,750	7,356
1,60	0,703	6,896
1,70	0,662	6,491
1,80	0,625	6,130
1,90	0,592	5,807
2,00	0,562	5,517
2,10	0,536	5,254
2,20	0,511	5,015
2,30	0,489	4,797
2,40	0,469	4,598
2,50	0,450	4,414
2,60	0,433	4,244
2,70	0,417	4,087
2,80	0,402	3,941
2,90	0,388	3,805
3,00	0,375	3,678
3,10	0,363	3,559

T	Ad	Ad*g
0,00	0,268	2,627
0,10	0,268	2,627
0,20	0,268	2,627
0,30	0,268	2,627
0,40	0,268	2,627
0,50	0,268	2,627
0,60	0,231	2,270
0,70	0,198	1,946
0,80	0,174	1,703
0,90	0,154	1,514
1,00	0,139	1,362
1,10	0,126	1,238
1,20	0,116	1,135
1,30	0,107	1,048
1,40	0,099	0,973
1,50	0,093	0,908
1,60	0,087	0,851
1,70	0,082	0,801
1,80	0,077	0,757
1,90	0,073	0,717
2,00	0,069	0,681
2,10	0,066	0,649
2,20	0,063	0,619
2,30	0,060	0,592
2,40	0,058	0,568
2,50	0,056	0,545
2,60	0,053	0,524
2,70	0,051	0,505
2,80	0,050	0,487
2,90	0,048	0,470
3,00	0,046	0,454
3,10	0,045	0,439

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

3,20	0,362	3,546
4,70	0,362	3,546
4,80	0,362	3,546
4,90	0,362	3,546
5,00	0,362	3,546
5,10	0,362	3,546
5,20	0,362	3,546
5,30	0,362	3,546
5,40	0,362	3,546
5,50	0,362	3,546
5,60	0,362	3,546
5,70	0,362	3,546
6,90	0,362	3,546
7,00	0,362	3,546
7,10	0,362	3,546
7,20	0,362	3,546
7,30	0,362	3,546
7,40	0,362	3,546
7,50	0,362	3,546
7,60	0,362	3,546
7,70	0,362	3,546
7,80	0,362	3,546
7,90	0,362	3,546
8,00	0,362	3,546
8,10	0,362	3,546
8,20	0,362	3,546
8,30	0,362	3,546
8,40	0,362	3,546
8,50	0,362	3,546
9,40	0,362	3,546
9,50	0,362	3,546
9,60	0,362	3,546
9,70	0,362	3,546
9,80	0,362	3,546
9,90	0,362	3,546
10,00	0,362	3,546

Tabla 5.23 Espectro elástico, Cons. Externa II CEC2002)

3,20	0,045	0,438
4,70	0,045	0,438
4,80	0,045	0,438
4,90	0,045	0,438
5,00	0,045	0,438
5,10	0,045	0,438
5,20	0,045	0,438
5,30	0,045	0,438
5,40	0,045	0,438
5,50	0,045	0,438
5,60	0,045	0,438
5,70	0,045	0,438
6,90	0,045	0,438
7,00	0,045	0,438
7,10	0,045	0,438
7,20	0,045	0,438
7,30	0,045	0,438
7,40	0,045	0,438
7,50	0,045	0,438
7,60	0,045	0,438
7,70	0,045	0,438
7,80	0,045	0,438
7,90	0,045	0,438
8,00	0,045	0,438
8,10	0,045	0,438
8,20	0,045	0,438
8,30	0,045	0,438
8,40	0,045	0,438
8,50	0,045	0,438
9,40	0,045	0,438
9,50	0,045	0,438
9,60	0,045	0,438
9,70	0,045	0,438
9,80	0,045	0,438
9,90	0,045	0,438
10,00	0,045	0,438

Tabla5.24 Espectro inelástico, Cons. Externa II CEC2002)

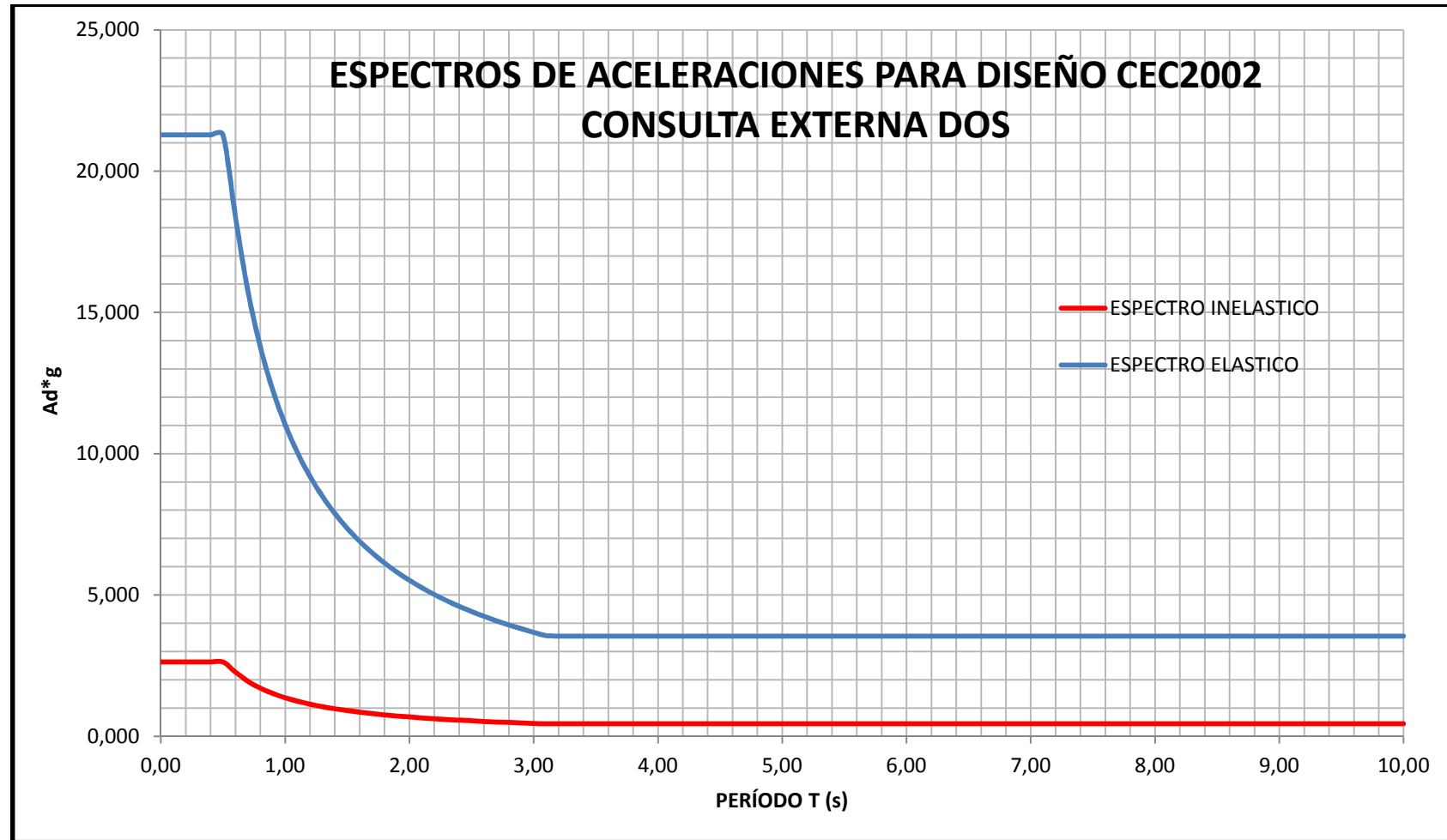


Fig. 5.8 Espectro de Aceleración, Consulta Externa II CEC2002

5.5. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

La comparación de resultados se realizará entre códigos así como también entre edificaciones.

5.5.1. COMPARACIÓN NUMÉRICA DE FUERZAS SÍSMICAS

EDIFICIO	NEC-11		CEC-2002	
	Coeficiente	Cortante B.	Coeficiente	Cortante B.
Hall Central	0,32	1853,98	0,16	941,52
Gobernantes	0,35	1327,98	0,16	612,27
Consulta Externa I	0,65	2007,30	0,27	823,39
Consulta Externa II	0,56	1832,44	0,24	781,24

Tabla 5.25 Comparación de fuerzas sísmica

- El coeficiente sísmico que presenta Hall Central según la Nec-11 es el doble del que presenta según el CEC-2002; por tanto como es directamente proporcional al cortante basal, presenta una fuerza sísmica también del doble, lo que aumenta la sollicitación sísmica.
- En Gobernantes el coeficiente sísmico dado por la NEC-11 resulta ser más del doble del calculado con CEC-2002, entonces la fuerza sísmica a distribuir en los niveles también es más del doble, por lo tanto tendremos un diseño más exigente;
- En los edificios Consulta Externa I y Consulta Externa II de la misma forma tenemos que los coeficientes y las fuerzas sísmicas aumentan a más del doble, lo que requiere diseños más exigentes y un mayor control de diseño estructural.

- Las diferencias en el aumento del coeficiente sísmico se deben principalmente a la configuración de su cálculo, es decir el cambio de la ecuación que plantea el nuevo código, así como también los cambios en la tablas de R; de esta forma podemos decir que en el CEC2002 tenemos el ZIC, de donde el factor zonal se multiplica por un coeficiente C y luego por I; pero en el NEC-11, tenemos I_{sa} , de donde S_a se calcula su valor afectado por un factor η , dado por la región y F_a que se lo obtiene de tablas. Además si los valores de R se han reducido y este está en el denominador consecuentemente aumenta el coeficiente.
- Tenemos que de las cuatro edificaciones la que presenta un mayor coeficiente es Consulta Externa I, cabe mencionar que este edificio es el que posee el período de vibración más bajo y no tiene muros de corte.
- En la NEC-11 de igual forma como el coeficiente sísmico es mayor, el cortante basal es mayor a pesar de que el edificio Hall Central tiene mayor peso y altura.
- Con CEC-2002 el edificio con más fuerza sísmica es Hall Central, por ser el más alto y tener más peso.

COMPARACIÓN DE LOS PERÍODOS DE VIBRACIÓN

EDIFICIO	PERÍODO T (s)	
	NEC-11	CEC-2002
Hall Central	0,59	0,73
Gobernantes	0,81	0,86
Consulta Externa I	0,44	0,51
Consulta Externa II	0,51	0,58

Tabla 5.26 Comparación de periodos de vibración

- El orden de los edificios en orden ascendente de su período fundamental de vibración es: Consulta Externa I, Consulta externa II, Hall Central y Gobernantes, según NEC-11 y CEC-2002.
- ¿Si el período de vibración es proporcional a la altura de la edificación porque Hall Central no tiene el mayor valor? Porque Hall Central posee un sistema dual que reduce su período al aumentar R .
- Consulta Externa II tiene un periodo de vibración mayor porque tiene más altura, ya que aquí reposa la cubierta metálica del auditorio.
- Consulta Externa I es la edificación que tiene el periodo de vibración más bajo, por tanto los coeficientes sísmicos más altos y las fuerzas sísmicas más elevadas a pesar de ser un edificio de poca altura.

5.5.2. COMPARACIÓN GRÁFICA DE ESPECTROS DE RESPUESTA

En este numeral se comparará los gráficos que arrojan los dos códigos, esto con el espectro elástico y el inelástico; además de los espectros del mismo código.

COMPARACIONES NEC-11:

Una vez revisado las tablas de cálculo y los diagramas que resultan, podemos concluir que los espectros sísmicos de aceleraciones son los mismos porque tienen y dependen de los mismos parámetros; de igual forma el espectro inelástico cambia ligeramente con el edificio de sistema dual, es decir el espectro de Hall Central con el de los demás edificios, esto se proporciona por el factor de reducción de resistencia R . Graficar estos espectros solamente sería ver una línea sobre la otra porque en el espectro inelástico la diferencia es muy pequeña, del orden de las centésimas en las abscisas.

COMPARACIONES CEC-2002:

El espectro de aceleraciones elástico es el mismo para las cuatro edificaciones, de igual forma porque tienen y dependen de los mismos parámetros. En cuanto al espectro inelástico de aceleraciones cambia sutilmente en el edificio Hall Central, por ser un sistema dual tiene una ordenada menor y el de los demás edificios tienen una ordenada mayor, la diferencia es del orden de las décimas.

COMPARACIÓN POR EDIFICOS Y CÓDIGOS:

Ahora comparamos los espectros de cada edificio y tomando en cuenta las diferencias en los códigos:

HALL CENTRAL:

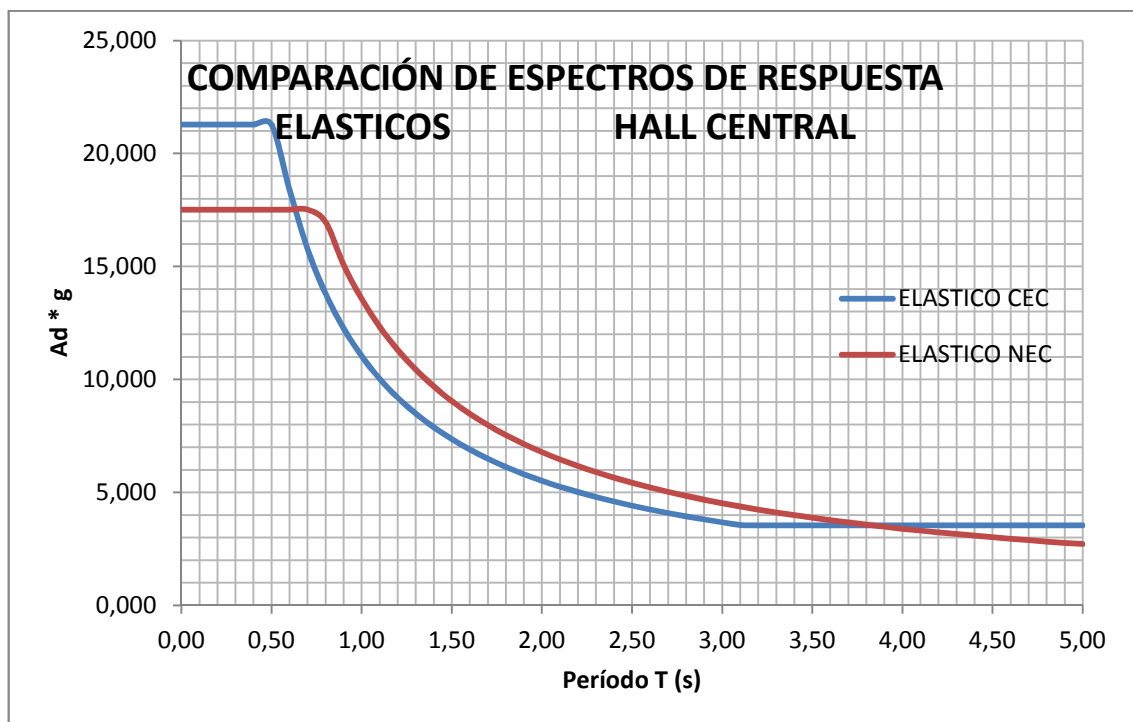


Fig. 5.9 Comparación de espectros de respuesta elástica, Hall Central CEC 2002

- La abscisa inicial es mayor en el CEC porque el C_m máximo es 3.0, en cambio la NEC propone un coeficiente η , que para la sierra es 2.48

multiplicado por un factor F_a de 1.2, estos valores dan un resultado de una diferencia de 3.76 en la mencionada abscisa.

- El período de cambio de ecuación en la CEC nos da un período de $T=0.5$, en cambio la NEC tiene un $T_c=0.77$.

- La primera intersección de las curvas se obtiene para un período de $T=0.63s$ y la segunda en $T=3.82s$, lo que nos indica que para estos períodos de vibración las aceleraciones espectrales son las mismas en los dos espectros.

- Para períodos más bajos que $T=0.63s$ el espectro del CEC arrojará aceleraciones más altas; para períodos entre $0.63s$ y $3.82s$ el espectro de la NEC dará mayores resultados y finalmente para períodos mayores que $3.82s$ el espectro CEC brinda valores de aceleración constante ya que $C=0.5$.

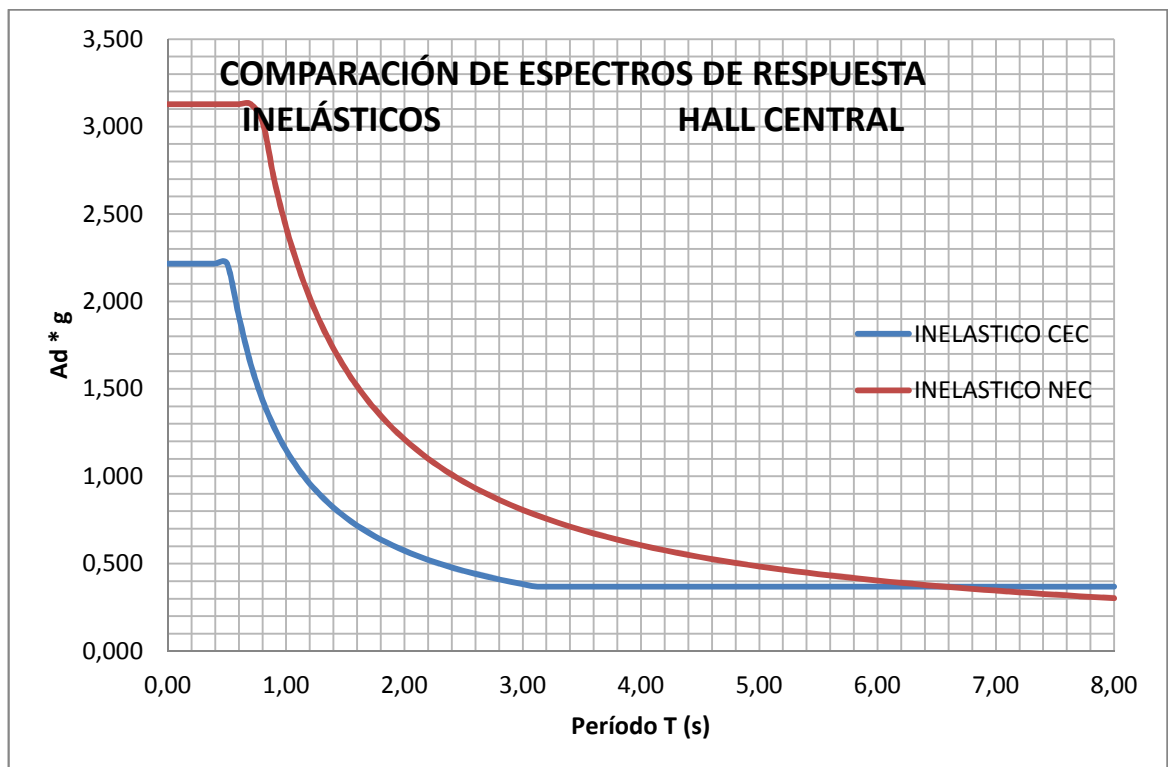


Fig. 5.10 Comparación de espectros de respuesta inelástica, Hall Central CEC 2002

- En la abscisa inicial el espectro NEC presenta un valor más alto, con una diferencia de 0.91 respecto del espectro CEC.
- Tienen un solo punto de intersección el mismo que se encuentra en $T=6.59s$.
- Para períodos más bajos de $T=6.59s$ los valores de aceleración espectral que arroja la gráfica NEC son más altos, cabe mencionar que la mayoría de estructuras están dentro de este intervalo.

GOBERNANTES:

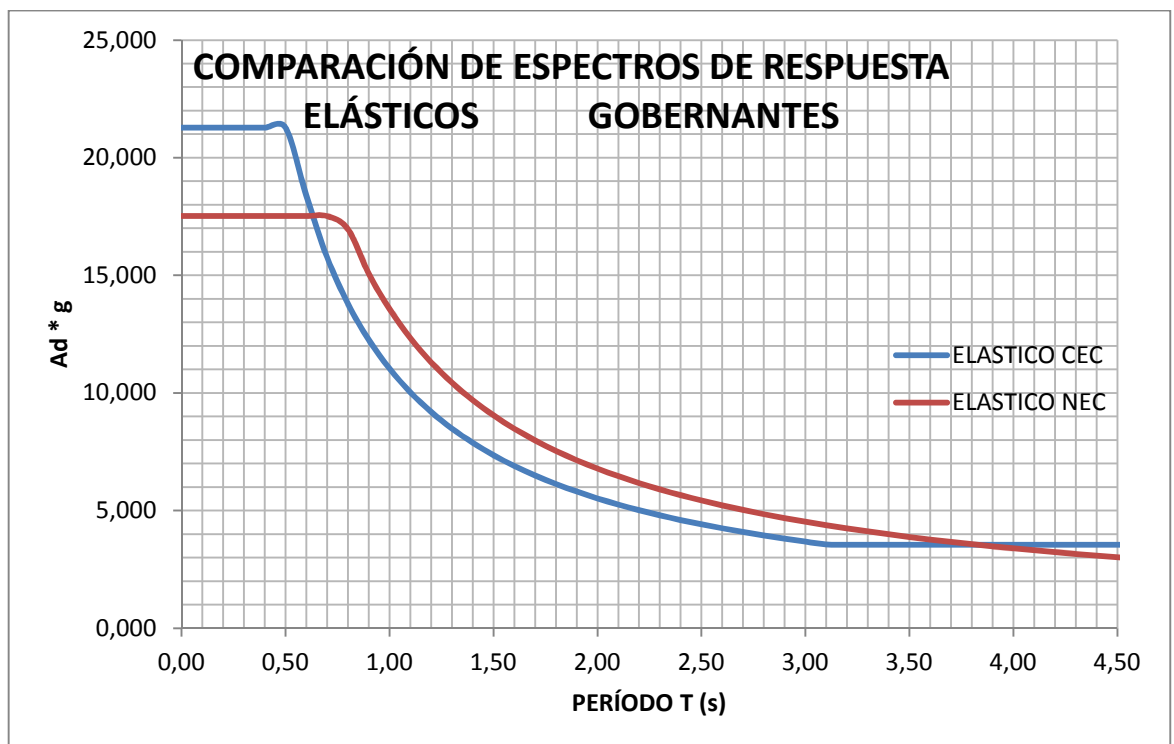


Fig. 5.11 Comparación de espectros de respuesta elástica, Gobernantes CEC 2002

- La diferencia en la abscisa inicial es de 3.76, misma que es coincidente con la diferencia de los espectros de Hall Central, esta similitud se proporciona por los parámetros de obtención y características de estas edificaciones.

- De igual manera las intersecciones también coinciden en los mismos períodos, $T = 0.63s$ y la segunda en $T = 3.82s$.
- Para períodos más bajos que $T = 0.63s$ el espectro del CEC arrojará aceleraciones más altas; para períodos entre $0.63s$ y $3.82s$ el espectro de la NEC dará mayores resultados y finalmente para períodos mayores que $3.82s$ el espectro CEC brinda valores de aceleración constante ya que $C = 0.5$.

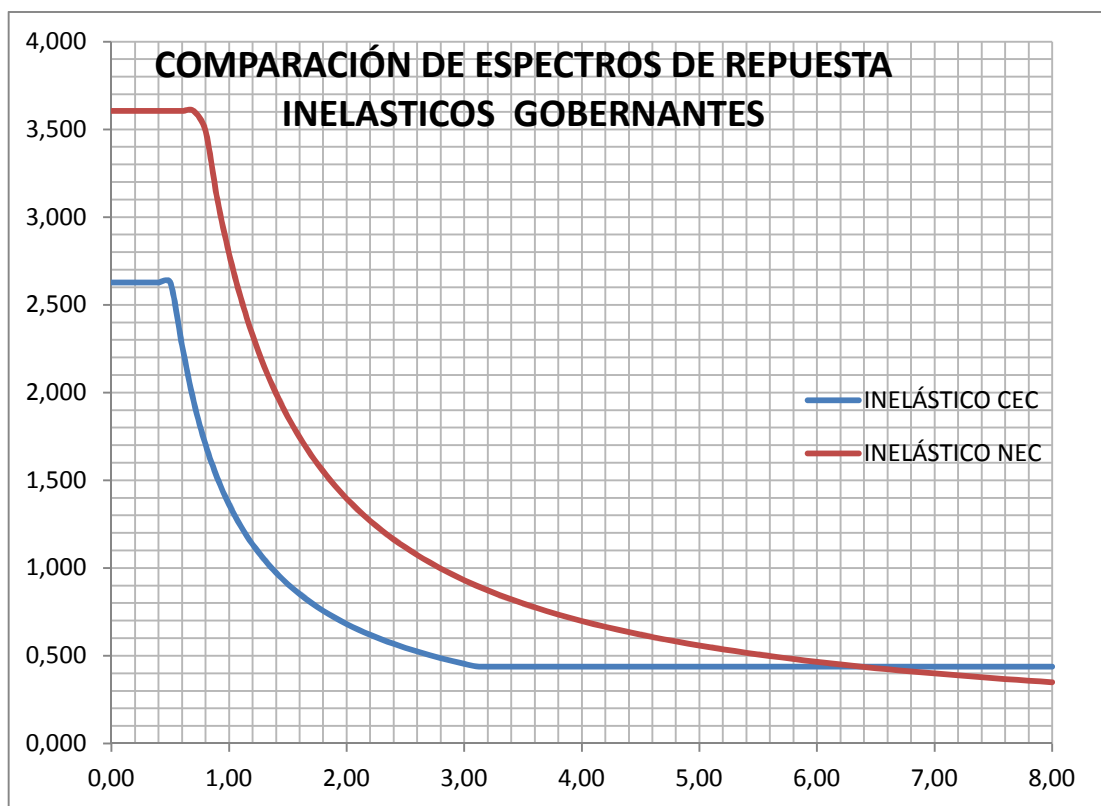


Fig. 5.12 Comparación de espectros de respuesta inelástica, Gobernantes CEC2002

- La gráfica Nec presenta una abscisa más alta de inicio que supera en 0.98 unidades a la gráfica CEC, adicionalmente esta diferencia supera al espectro de Hall Central en 0.07 unidades.
- El punto de intersección se encuentra en $T = 6.29s$, mismo que es más bajo que la intersección de Hall Central. La diferencia es de 0.3s.

- Para períodos más bajos de $T=6.29s$ los valores de aceleración espectral que arroja la gráfica NEC son más altos, cabe mencionar que la mayoría de estructuras están dentro de este intervalo.

CONSULTA EXTERNA I

Los diagramas elásticos de este edificio son coincidentes con los de los otros dos, de tal forma que no es necesario exponer los mismos datos por tercera vez; tienen en común las intersecciones y abscisas.

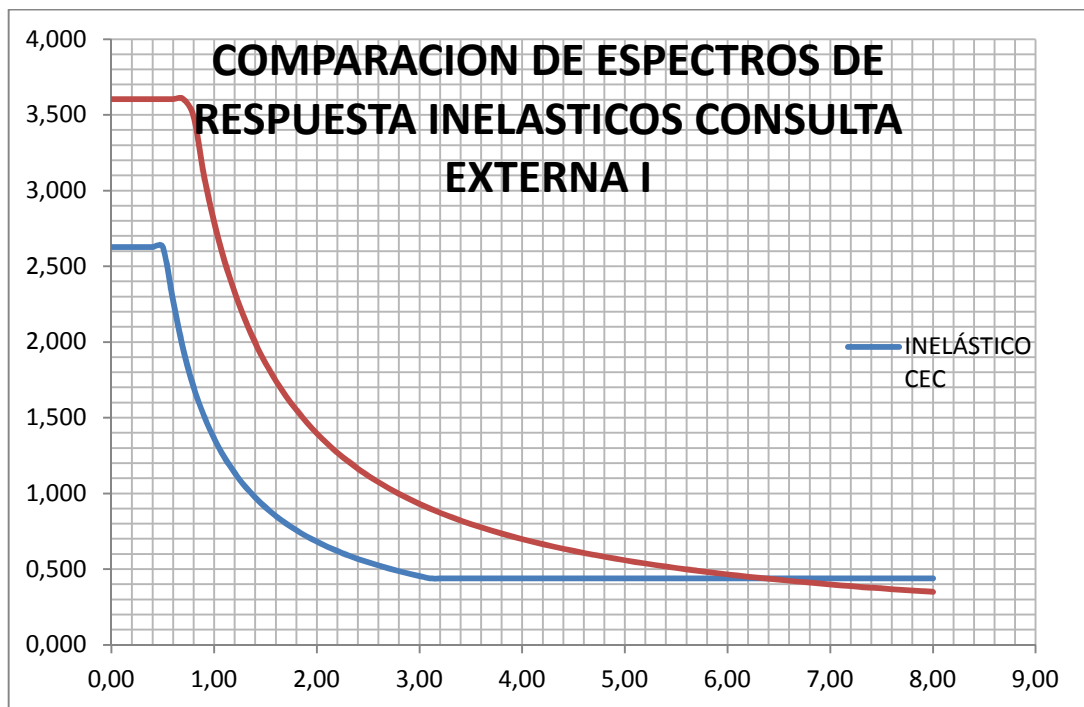


Fig. 5.13 Comparación de espectros de repuesta inelástica, Consulta Externa I CEC2002

- Las abscisas de las gráficas son coincidentes con los otros diagramas de esta naturaleza; pero, el período en el cual se intersecan estos diagramas cambia y es $T= 6.39$, es decir 0.10s más que en los anteriores gráficos.

CONSULTA EXTERNA II

Los diagramas elásticos de este edificio son coincidentes con los de los otros tres, de tal forma que no es necesario exponer los mismos datos por tercera vez; tienen en común las intersecciones, abscisas y demás parámetros.

El diagrama inelástico es totalmente coincidente con el de Consulta Externa I, es decir tiene una intersección de curvas en $T=6.39s$.

CAPÍTULO VI

6.1 MODELO DE LA ESTUCTURA CONVENCIONAL SEGÚN LA NEC-11

Los modelos computacionales de los edificios se han desarrollado con el pre-dimensionamiento y cargas expuestas en el capítulo tres, quedando de la siguiente forma:

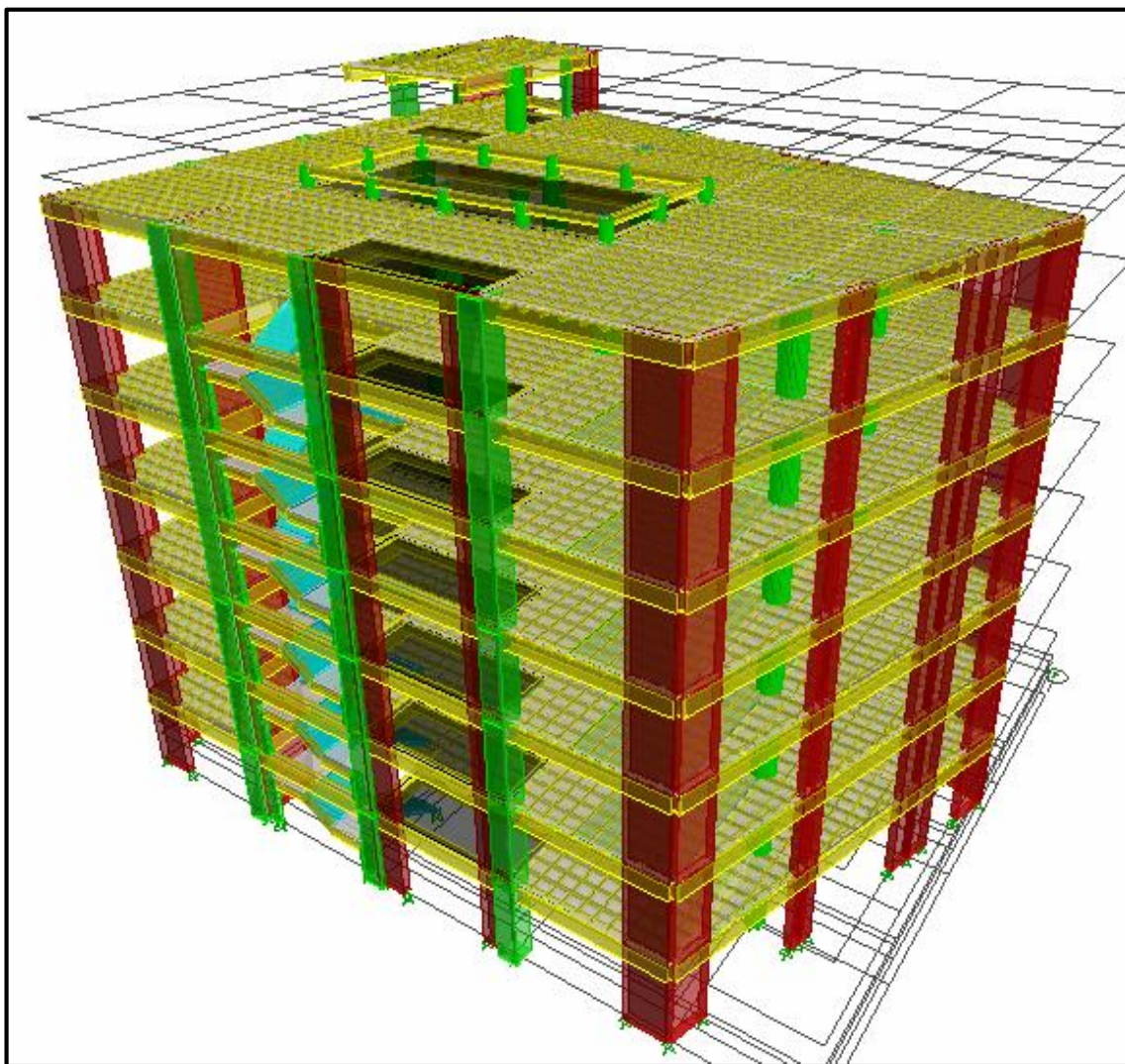


Fig. 6.1. Modelo 3D Hall Central

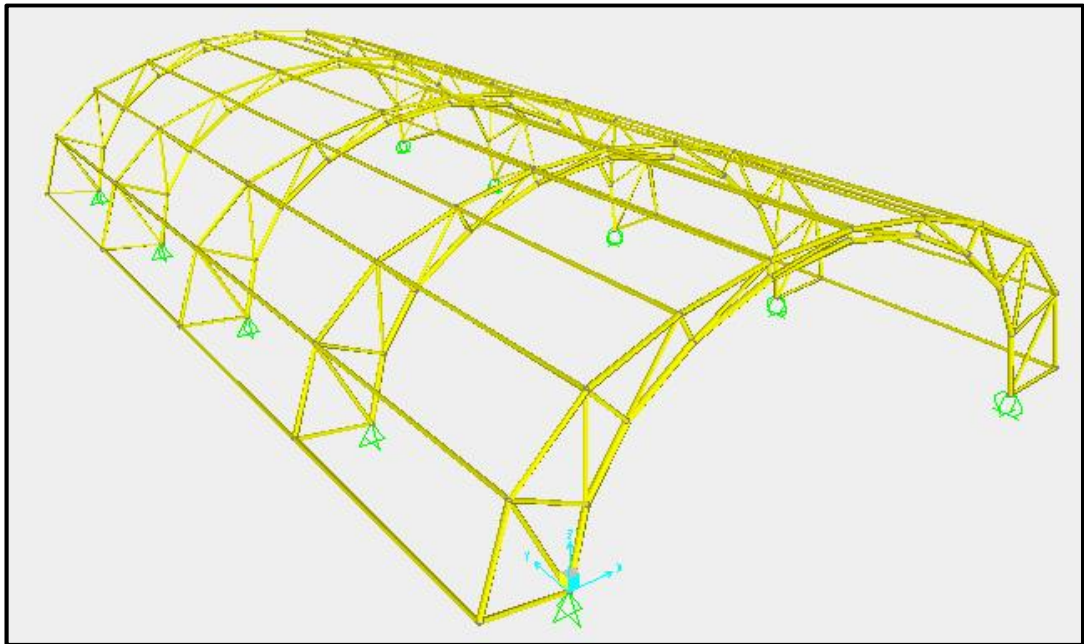


Fig6.2. Celosía ducto Hall Central

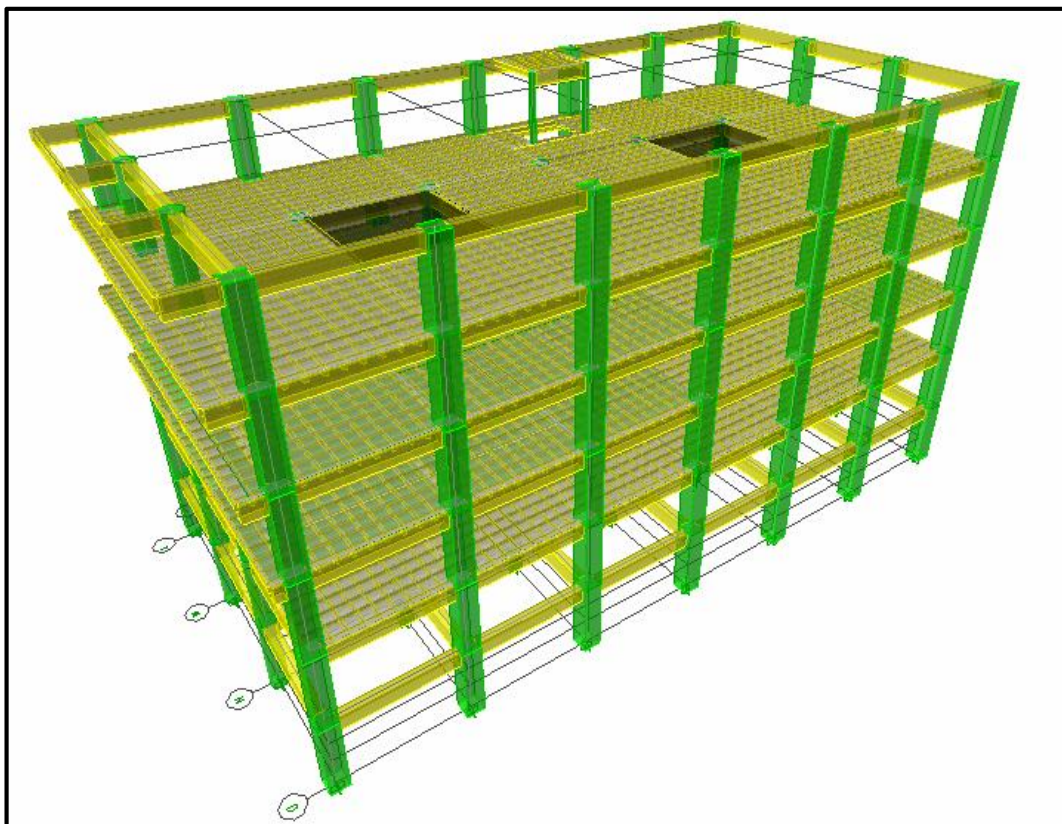


Fig.6.3. Modelo 3D Gobernantes

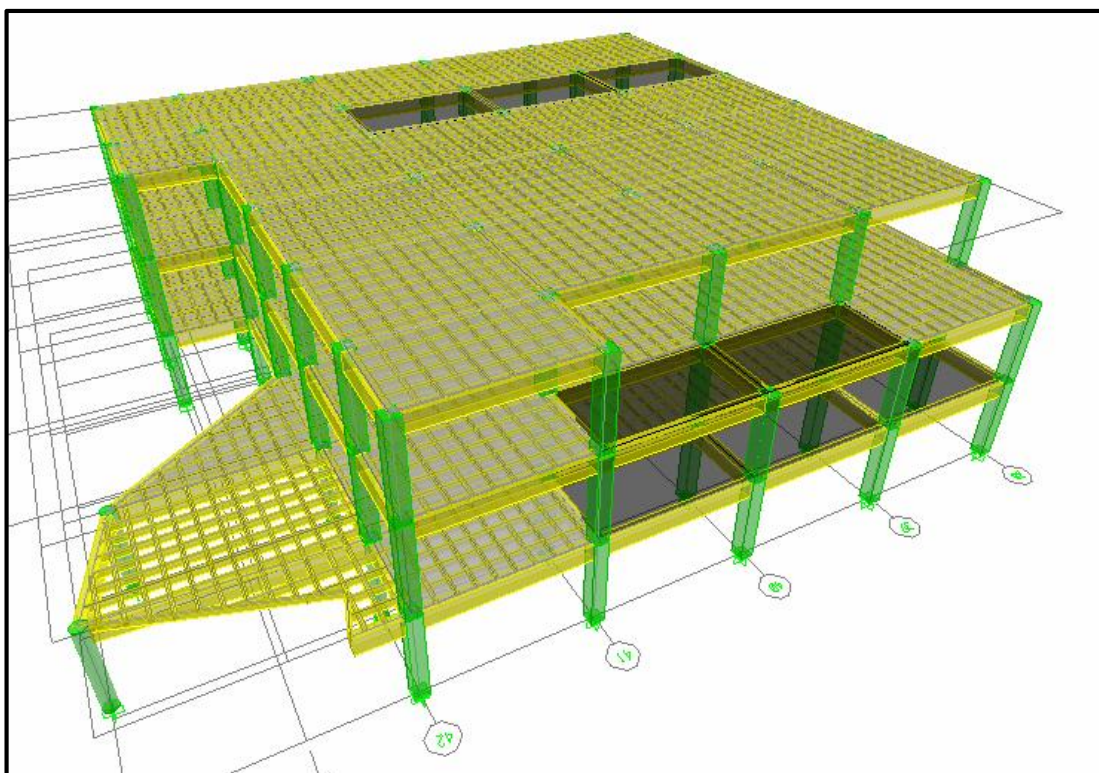


Fig. 6.4. Modelo 3D Consulta Externa I

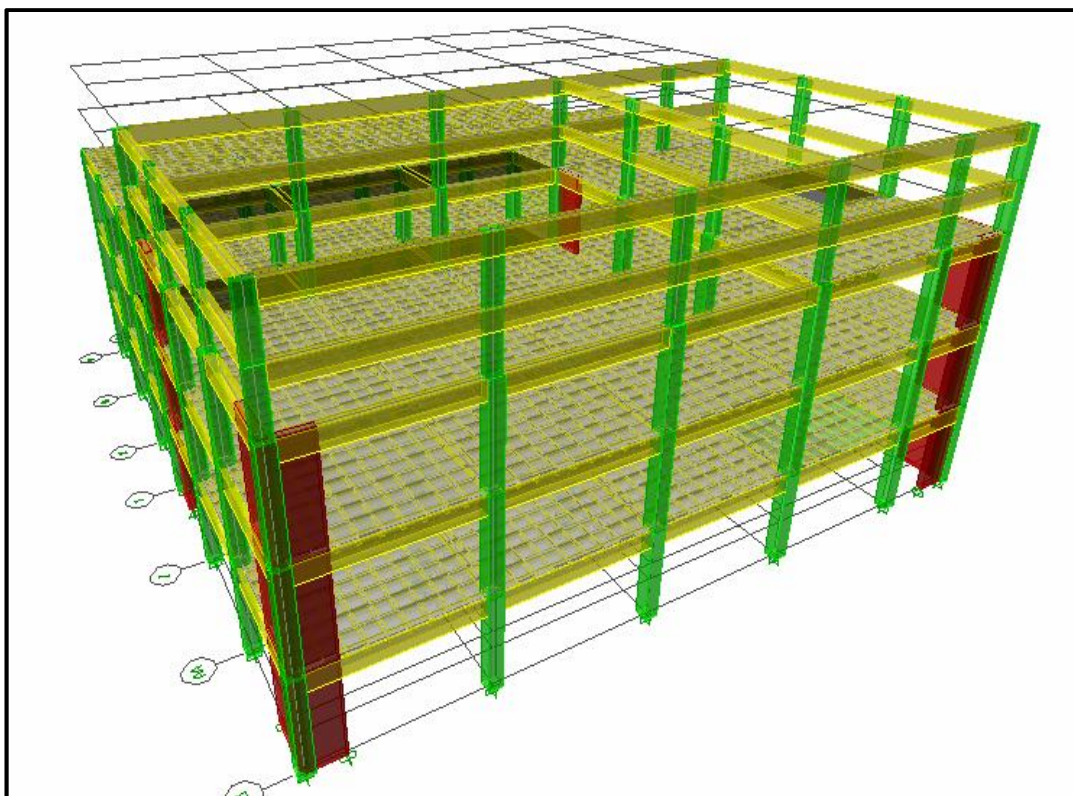


Fig. 6.5. Modelo 3D Consulta Externa II

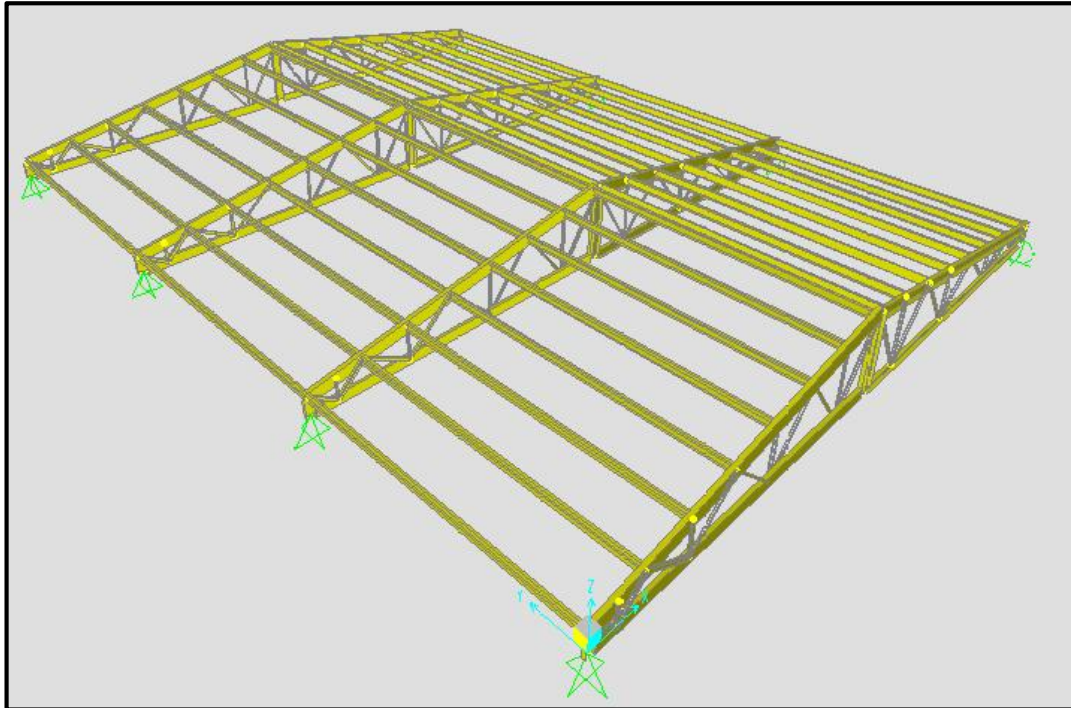


Fig. 6.6. Cubierta de auditorio, Consulta Externa II

MODOS DE VIBRACIÓN DE LOS MODELOS

Se presenta en tablas los valores correspondientes a la participación modal, de cada una de las estructuras en los análisis estático (coeficiente sísmico) y dinámico (espectro de aceleraciones).

PARTICIPACIÓN MODAL (HALL CENTRAL), ANÁLISIS ESTÁTICO						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	1,1690	72,5903	0,2864	0,3997	98,3248	0,6341
2	0,9431	0,4218	70,3696	96,4432	0,5583	1,6242
3	0,8254	0,5772	2,4084	2,4215	0,5000	69,8473
4	0,3209	13,6145	0,1200	0,0008	0,1897	0,2139
5	0,2575	0,0658	13,9774	0,2434	0,0032	0,4815
6	0,2172	0,3751	0,8966	0,1000	0,0082	14,0070
7	0,1713	2,5607	0,1907	0,0142	0,1473	1,0412
8	0,1537	0,2081	1,1365	0,0837	0,0123	0,0022
9	0,1455	0,0743	0,7473	0,0257	0,0029	0,3570
10	0,1373	2,9662	0,4208	0,0223	0,1339	0,0140
11	0,1301	0,0385	1,9884	0,0842	0,0035	0,1510
12	0,1168	0,3801	0,0160	0,0001	0,0135	0,5982

Tabla 6.1 Análisis estático, Hall central

PARTICIPACIÓN MODAL (HALL CENTRAL), ANÁLISIS DINÁMICO						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	1,1676	72,6151	0,2840	0,3955	98,3443	0,6145
2	0,9420	0,4120	70,4913	96,5664	0,5471	1,5297
3	0,8249	0,5632	2,2897	2,3011	0,4910	69,9626
4	0,3204	13,6437	0,1225	0,0008	0,1916	0,2057
5	0,2573	0,0680	13,9497	0,2429	0,0033	0,5018
6	0,2167	0,3513	0,9302	0,1024	0,0074	14,0756
7	0,1697	2,6982	0,2019	0,0146	0,1533	0,9490
8	0,1537	0,1802	1,0931	0,0814	0,0107	0,0016
9	0,1452	0,0483	0,7960	0,0279	0,0018	0,3839
10	0,1366	2,9149	0,4560	0,0242	0,1320	0,0208
11	0,1299	0,0205	1,9328	0,0817	0,0023	0,1483
12	0,1166	0,3506	0,0156	0,0001	0,0125	0,5670

Tabla 6.2 Análisis dinámico, Hall Central

PARTICIPACIÓN MODAL (GOBERNANTES), ANÁLISIS ESTÁTICO						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	0,766095	0,010100	76,501500	95,416500	0,012500	3,871400
2	0,729402	81,067400	0,038600	0,046900	99,351800	0,187700
3	0,703703	0,223500	3,561600	4,179300	0,272400	76,354900
4	0,222930	0,001200	10,897000	0,009500	0,000000	0,259600
5	0,210412	10,613100	0,007900	0,000000	0,005300	0,078500
6	0,202151	0,076700	0,380800	0,001400	0,000000	10,691300
7	0,110829	0,001200	3,847800	0,254900	0,000100	0,146300
8	0,104657	3,697300	0,006200	0,000400	0,295000	0,041400
9	0,099534	0,033000	0,206400	0,011000	0,003200	3,972200
10	0,067565	0,001300	1,913900	0,040500	0,000000	0,081100
11	0,064870	1,826000	0,003200	0,000100	0,020400	0,010100
12	0,060113	0,005900	0,114000	0,001800	0,000100	2,005900

Tabla 6.3 Análisis estático, Gobernantes

PARTICIPACIÓN MODAL (GOBERNANTES), ANÁLISIS DINÁMICO						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	0,766095	0,010100	76,501500	95,416500	0,012500	3,871400
2	0,729402	81,067400	0,038600	0,046900	99,351800	0,187700
3	0,703703	0,223500	3,561600	4,179300	0,272400	76,354900
4	0,222930	0,001200	10,897000	0,009500	0,000000	0,259600
5	0,210412	10,613100	0,007900	0,000000	0,005300	0,078500
6	0,202151	0,076700	0,380800	0,001400	0,000000	10,691300
7	0,110829	0,001200	3,847800	0,254900	0,000100	0,146300
8	0,104657	3,697300	0,006200	0,000400	0,295000	0,041400
9	0,099534	0,033000	0,206400	0,011000	0,003200	3,972200
10	0,067565	0,001300	1,913900	0,040500	0,000000	0,081100
11	0,064870	1,826000	0,003200	0,000100	0,020400	0,010100
12	0,060113	0,005900	0,114000	0,001800	0,000100	2,005900

Tabla 6.4 Análisis dinámico, Gobernantes

PARTICIPACIÓN MODAL (CONSULTA EXTERNA I), ANÁLISIS ESTÁTICO						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	0,461437	83,3954	0,0238	0,0277	99,6619	0,2205
2	0,433211	0,0257	84,4312	99,6641	0,0309	0,1671
3	0,393908	0,1284	0,1094	0,096	0,0878	82,8269
4	0,146832	12,3298	0,0002	0	0,0009	0,8191
5	0,140169	0	12,1737	0,0157	0	0,0468
6	0,130283	0,5712	0,0111	0,002	0,005	12,3492
7	0,08208	3,3586	0,0065	0,0011	0,193	0,3308
8	0,080507	0,017	3,2181	0,1934	0,0014	0,0085
9	0,074567	0,174	0,026	0	0,0191	3,231
10	0,011468	0	0	0	0	0
11	0,010503	0	0	0	0	0
12	0,008406	0	0	0	0	0

Tabla 6.5 Análisis estático, Consulta Externa I

PARTICIPACIÓN MODAL (CONSULTA EXTERNA I), ANÁLISIS DINÁMICO						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	0,461437	83,3954	0,0238	0,0277	99,6619	0,2205
2	0,433211	0,0257	84,4312	99,6641	0,0309	0,1671
3	0,393908	0,1284	0,1094	0,096	0,0878	82,8269
4	0,146832	12,3298	0,0002	0	0,0009	0,8191
5	0,140169	0	12,1737	0,0157	0	0,0468
6	0,130283	0,5712	0,0111	0,002	0,005	12,3492
7	0,08208	3,3586	0,0065	0,0011	0,193	0,3307
8	0,080507	0,017	3,2181	0,1934	0,0014	0,0085
9	0,074567	0,174	0,026	0	0,0191	3,231
10	0,011468	0	0	0	0	0
11	0,010503	0	0	0	0	0
12	0,008406	0	0	0	0	0

Tabla 6.6 Análisis dinámico, Consulta Externa I

PARTICIPACIÓN MODAL (CONSULTA EXTERNA II), ANÁLISIS ESTÁTICO						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	0,450712	72,1008	0,6675	0,9218	88,4071	8,0383
2	0,337749	2,398	65,1259	88,6965	3,2982	5,625
3	0,295627	4,8802	5,9501	8,0649	7,5679	56,6738
4	0,176132	0,0647	4,2798	1,118	0,1286	4,666
5	0,156917	1,0812	2,8773	0,2464	0,0336	1,5813
6	0,140146	11,558	0,0096	0,0002	0,0536	0,2532
7	0,112384	0,8874	0,0146	0,0049	0,0702	1,6061
8	0,104334	0,0362	0,1775	0,0023	0,0002	0,1065
9	0,104193	0,0352	1,5103	0,0243	0,0003	0,0847
10	0,101984	0,0792	0,002	0	0,0002	0,0882
11	0,097871	0,0145	0	0,0001	0,0046	0,074
12	0,096989	0,9063	0,0171	0	0,1409	4,8141

Tabla 6.7 Análisis estático, Consulta Externa II

PARTICIPACIÓN MODAL (CONSULTA EXTERNA II), ANÁLISIS DINÁMICO						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	0,450712	72,1008	0,6675	0,9218	88,4071	8,0383

2	0,337749	2,398	65,1259	88,6965	3,2982	5,625
3	0,295627	4,8802	5,9501	8,0649	7,5679	56,6738
4	0,176132	0,0647	4,2798	1,118	0,1286	4,666
5	0,156917	1,0812	2,8773	0,2464	0,0336	1,5813
6	0,140146	11,558	0,0096	0,0002	0,0536	0,2532
7	0,112384	0,8874	0,0146	0,0049	0,0702	1,6061
8	0,104334	0,0362	0,1775	0,0023	0,0002	0,1065
9	0,104193	0,0352	1,5103	0,0243	0,0003	0,0847
10	0,101984	0,0792	0,002	0	0,0002	0,0882
11	0,097871	0,0145	0	0,0001	0,0046	0,074
12	0,096989	0,9063	0,0171	0	0,1409	4,8141

Tabla 6.8 Análisis dinámico, Consulta Externa II

Podemos notar entonces que las edificaciones se desplazan en los dos primeros Períodos y en un tercero gira. A continuación se presentan una galería de figuras en las que se puede verificar lo antes mencionado.

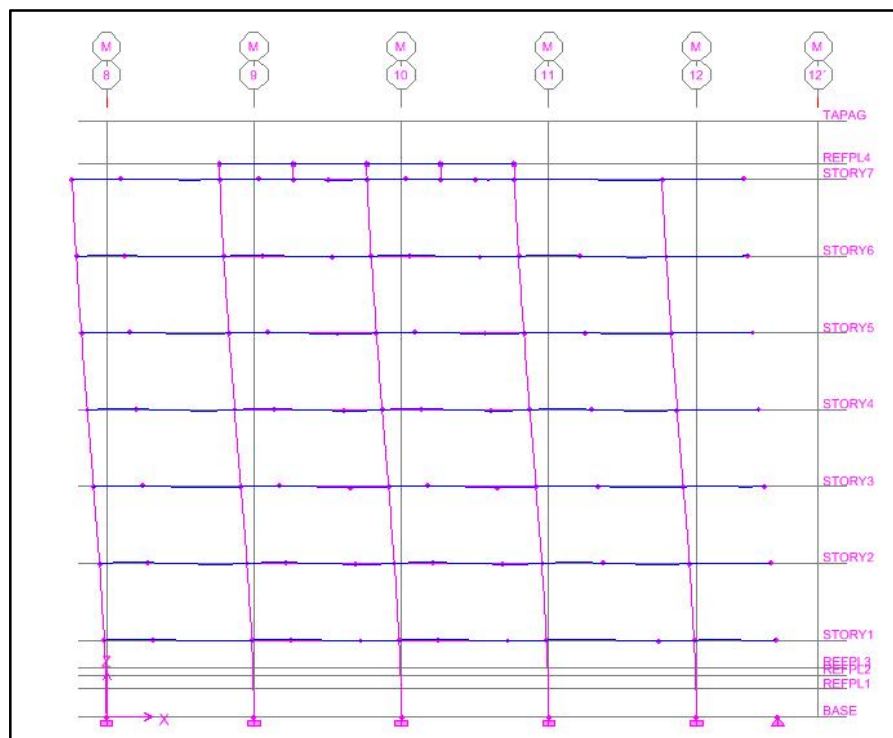


Fig.6.7. Modo 1, Pórtico M, Sentido X, Hall Central

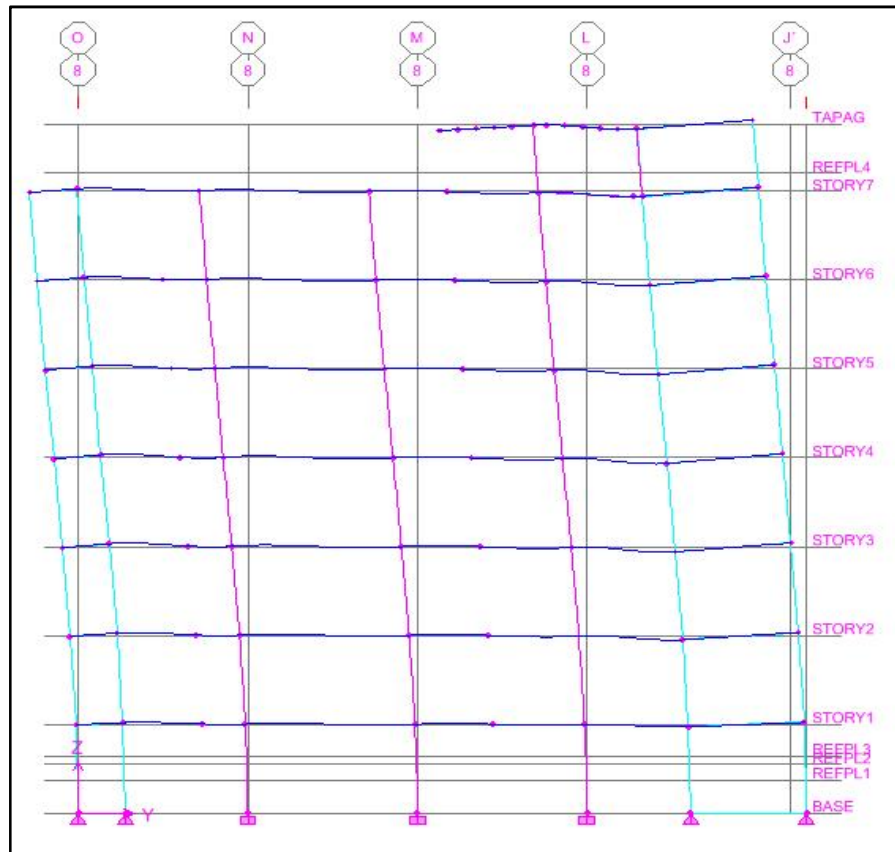


Fig. 6.8. Modo 2 en Pórtico 8, Sentido Y, Hall Central

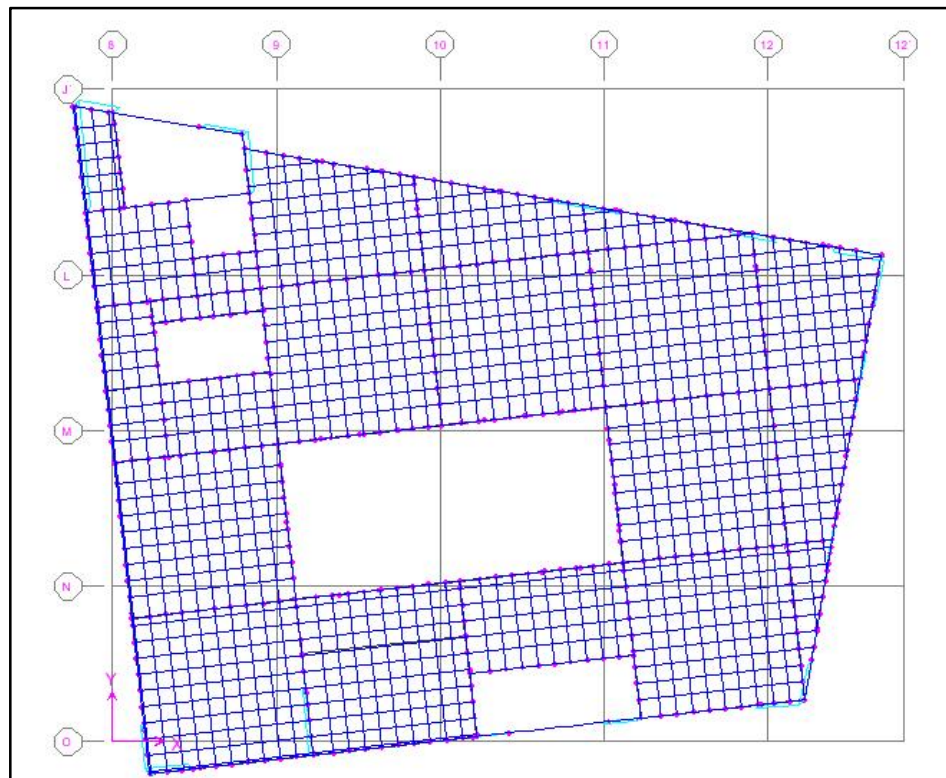


Fig6.9. Modo 3, Planta, Hall Central

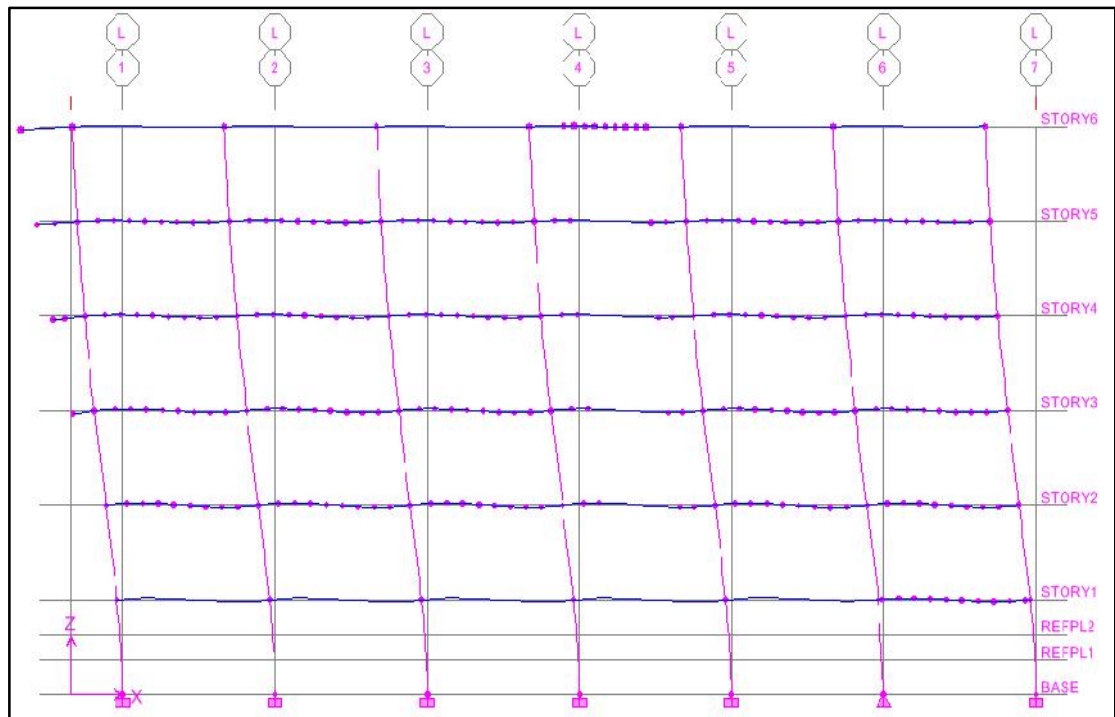


Fig. 6.10. Modo 1 Pórtico I, Sentido X, Gobernantes

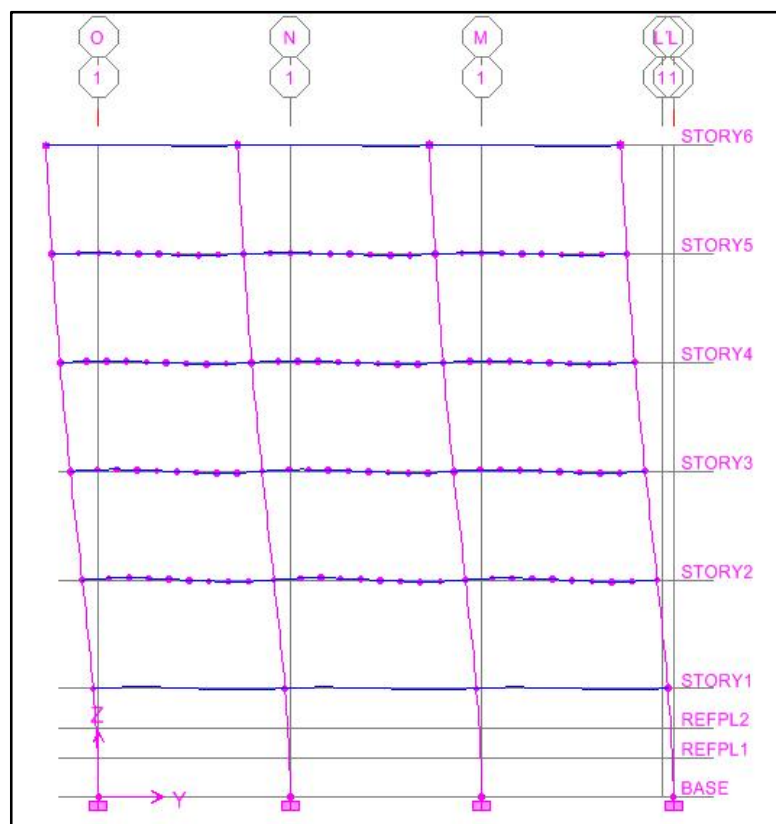


Fig. 6.11. Modo 2 Pórtico 1, Sentido Y, Gobernantes

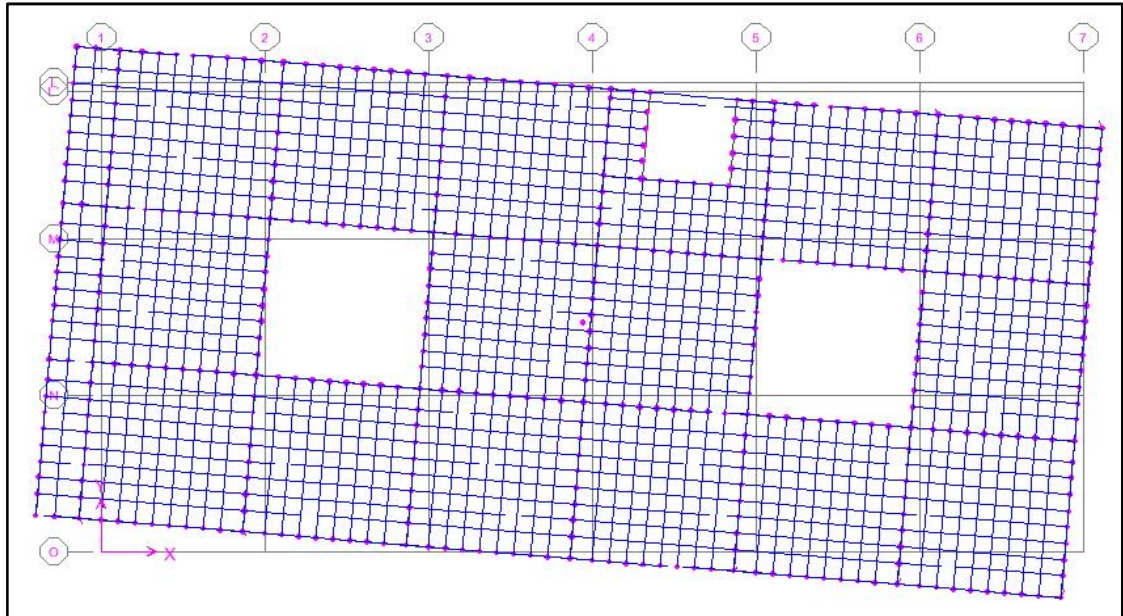


Fig. 6.12. Modo 3 Planta, Gobernantes

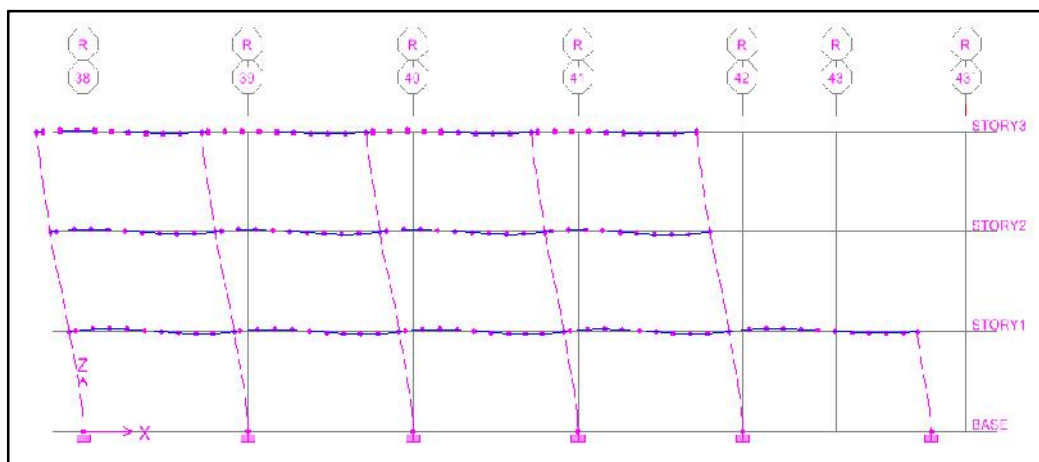


Fig. 6.13. Modo 1 Pórtico R, Sentido X, Consulta Externa I

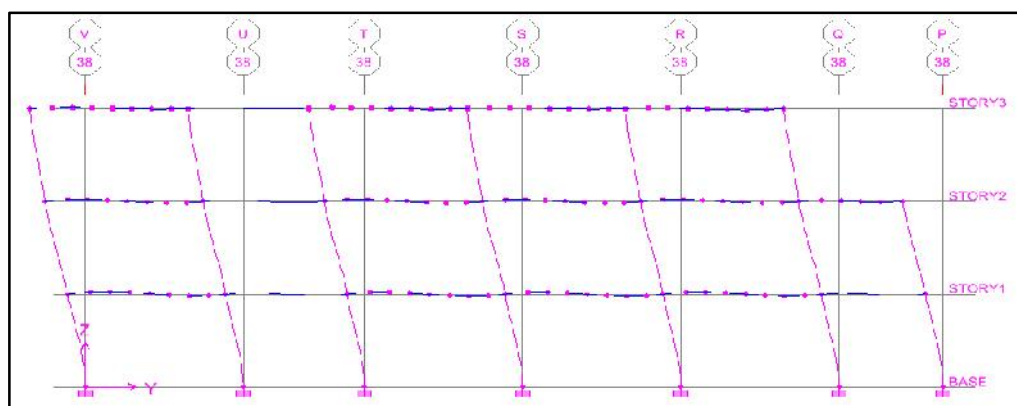


Fig. 6.14. Modo 2 en Pórtico 38, Sentido Y, Consulta Externa I

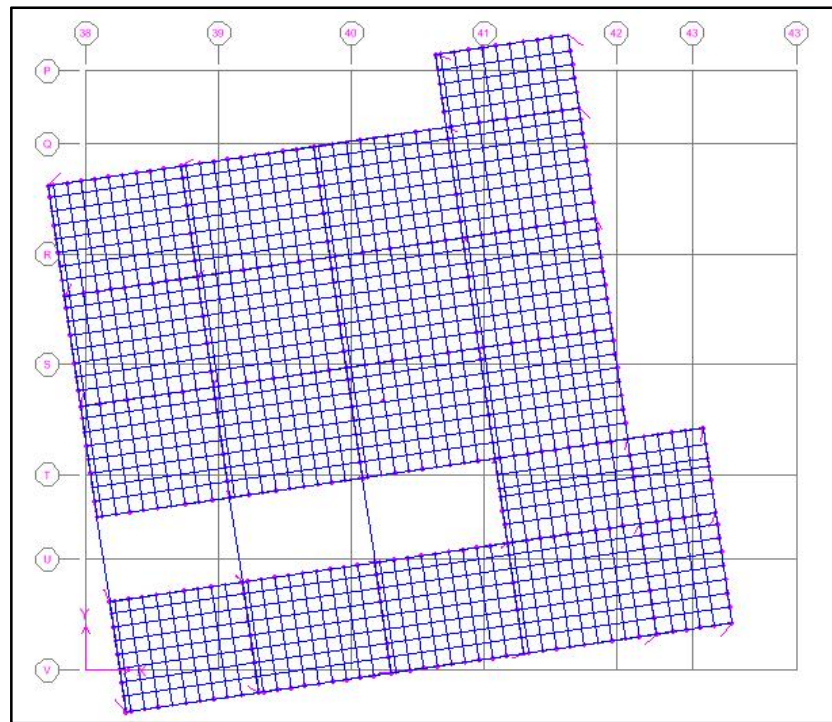


Fig.6.15. Modo 3 en Planta, Consulta Externa I

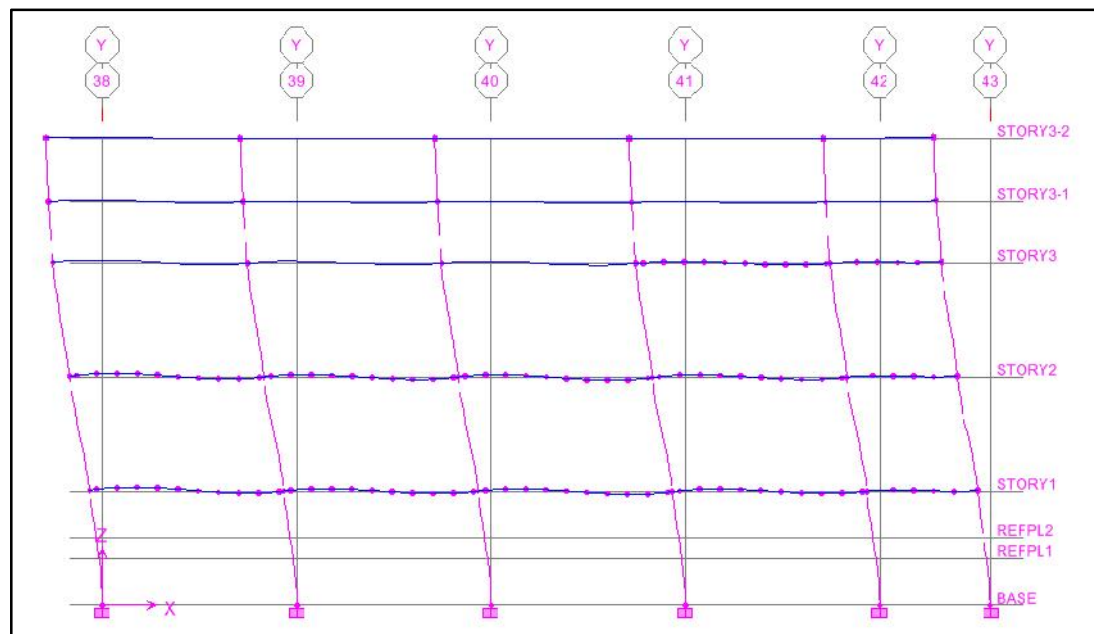


Fig.6.16. Modo 1 Pórtico Y, Sentido X, Consulta Externa II

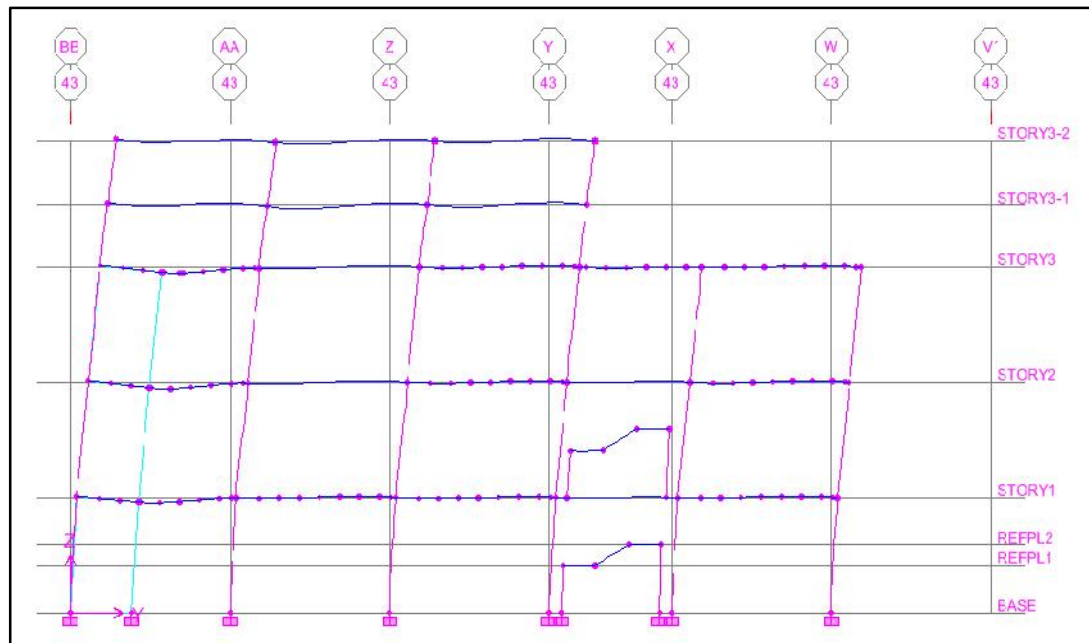


Fig.6.17. Modo 2 Pórtico 43, Sentido Y, Consulta Externa II

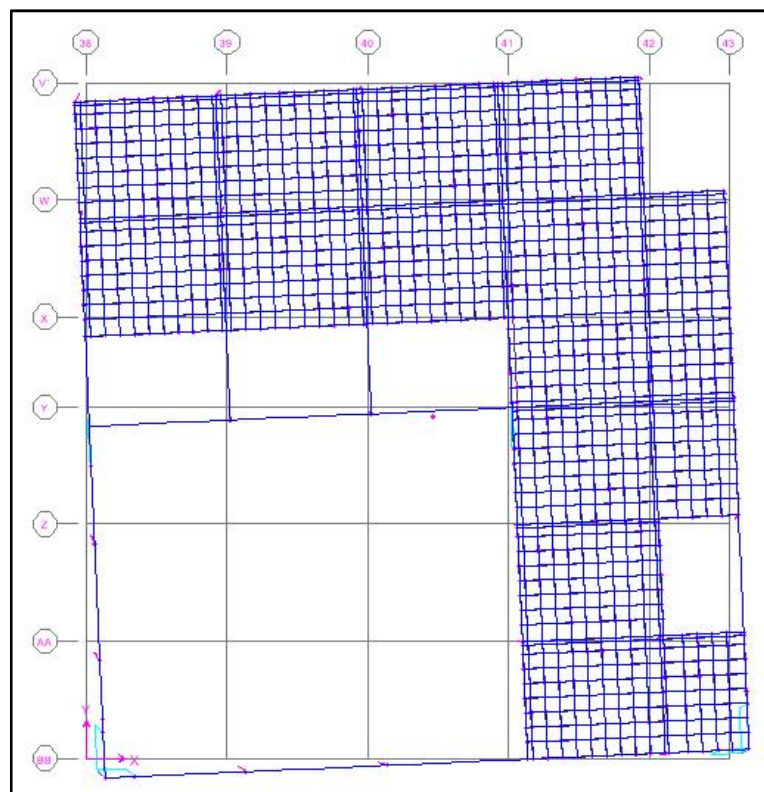


Fig.6.18. Modo 3 en Planta, Consulta Externa II

DERIVA DE PISO DE LOS MODELOS

Se expone a continuación las derivas de piso con los diferentes casos y combinaciones de carga, se tratará de resumir en lo posible y tener los datos más críticos.

DERIVAS DE PISO (HALL CENTRAL), ANÁLISIS ESTÁTICO								
PISO	DIRECCIÓN	COMBINAC CARGA	NIVEL (m)	DERIVA X	DERIVA Y	DERIVA X (%)	DERIVA Y (%)	ESTADO
Tapagrada	X	COMB. 4	30,72	0,008421		0,84		CUMPLE
Tapagrada	Y	COMB. 6	30,72		0,006936		0,69	CUMPLE
Séptimo	X	COMB. 4	27,72	0,009349		0,93		CUMPLE
Séptimo	Y	COMB. 6	27,72		0,007245		0,72	CUMPLE
Sexto	X	COMB. 4	23,76	0,011476		1,15		CUMPLE
Sexto	Y	COMB. 6	23,76		0,007245		0,72	CUMPLE
Quinto	X	COMB. 4	19,80	0,012373		1,24		CUMPLE
Quinto	Y	COMB. 6	19,80		0,008237		0,82	CUMPLE
Cuarto	X	COMB. 4	15,84	0,013008		1,30		CUMPLE
Cuarto	Y	COMB. 6	15,84		0,00829		0,83	CUMPLE
Tercero	X	COMB. 4	11,88	0,012485		1,25		CUMPLE
Tercero	Y	COMB. 6	11,88		0,007878		0,79	CUMPLE
Segundo	X	COMB. 4	7,92	0,01007		1,01		CUMPLE
Segundo	Y	COMB. 6	7,92		0,00667		0,67	CUMPLE
Primero	X	COMB. 4	3,96	0,004718		0,47		CUMPLE
Primero	Y	COMB. 6	3,96		0,003702		0,37	CUMPLE

Tabla 6.9 Deriva de piso, Análisis estático, Hall Central

La combinación de carga es la que produce los valores de deriva de piso más crítica en cada sentido de la estructura.

DERIVAS DE PISO (HALL CENTRAL), ANÁLISIS DINÁMICO								
PISO	DIRECCIÓN	COMBINAC CARGA	NIVEL (m)	DERIVA X	DERIVA Y	DERIVA (%) X	DERIVA (%) Y	ESTADO
Tapagrada	X	COMB. 3	30,72	0,00375		0,38		CUMPLE
Tapagrada	Y	COMB. 3	30,72		0,003634		0,36	CUMPLE
Séptimo	X	COMB. 3	27,72	0,003993		0,40		CUMPLE
Séptimo	Y	COMB. 3	27,72		0,003728		0,37	CUMPLE
Sexto	X	COMB. 3	23,76	0,004372		0,44		CUMPLE
Sexto	Y	COMB. 3	23,76		0,003913		0,39	CUMPLE
Quinto	X	COMB. 3	19,80	0,004738		0,47		CUMPLE
Quinto	Y	COMB. 3	19,80		0,004031		0,40	CUMPLE
Cuarto	X	COMB. 3	15,84	0,0049		0,49		CUMPLE
Cuarto	Y	COMB. 3	15,84		0,00399		0,40	CUMPLE
Tercero	X	COMB. 3	11,88	0,004621		0,46		CUMPLE
Tercero	Y	COMB. 3	11,88		0,003606		0,36	CUMPLE
Segundo	X	COMB. 3	7,92	0,003647		0,36		CUMPLE
Segundo	Y	COMB. 3	7,92		0,002778		0,28	CUMPLE
Primero	X	COMB. 3	3,96	0,001672		0,17		CUMPLE
Primero	Y	COMB. 3	3,96		0,001577		0,16	CUMPLE

Tabla 6.10 Derivas de pisos, Análisis dinámico, Hall Central

La combinación 3 es la que produce las derivas máximas.

DERIVAS DE PISO (GOBERNANTES), ANÁLISIS ESTÁTICO								
PISO	DIREC	COMB CARGA	NIVEL (m)	DERIVA X	DERIVA Y	DER X (%)	DER Y (%)	ESTADO
Tapag	X	COMB. 4	23,76	0,002126		0,21		CUMPLE
Tapag	Y	COMB. 6	23,76		0,002837		0,28	CUMPLE
Quinto	X	COMB. 4	19,80	0,003528		0,35		CUMPLE
Quinto	Y	COMB. 6	19,80		0,00418		0,42	CUMPLE
Cuarto	X	COMB. 4	15,84	0,00516		0,52		CUMPLE
Cuarto	Y	COMB. 6	15,84		0,00596		0,60	CUMPLE
Tercero	X	COMB. 4	11,88	0,006243		0,62		CUMPLE
Tercero	Y	COMB. 6	11,88		0,007085		0,71	CUMPLE
Segundo	X	COMB. 4	7,92	0,006027		0,60		CUMPLE
Segundo	Y	COMB. 6	7,92		0,006622		0,66	CUMPLE
Primero	X	COMB. 4	3,96	0,003203		0,32		CUMPLE
Primero	Y	COMB. 6	3,96		0,003323		0,33	CUMPLE

Tabla 6.11 Derivas de pisos, Análisis Estático, Gobernantes

DERIVAS DE PISO (GOBERNANTES), ANÁLISIS DINÁMICO								
PISO	DIREC	COMB CARGA	NIVEL (m)	DERIVA X	DERIVA Y	DER X (%)	DER Y (%)	ESTADO
Tapag	X	COMB. 3	23,76	0,001839		0,18		CUMPLE
Tapag	Y	COMB. 3	23,76		0,002553		0,26	CUMPLE
Quinto	X	COMB. 3	19,80	0,002546		0,25		CUMPLE
Quinto	Y	COMB. 3	19,80		0,003198		0,32	CUMPLE
Cuarto	X	COMB. 3	15,84	0,003425		0,34		CUMPLE
Cuarto	Y	COMB. 3	15,84		0,004204		0,42	CUMPLE
Tercero	X	COMB. 3	11,88	0,00398		0,40		CUMPLE
Tercero	Y	COMB. 3	11,88		0,004764		0,48	CUMPLE
Segundo	X	COMB. 3	7,92	0,003768		0,38		CUMPLE
Segundo	Y	COMB. 3	7,92		0,004352		0,44	CUMPLE
Primero	X	COMB. 3	3,96	0,001979		0,20		CUMPLE
Primero	Y	COMB. 3	3,96		0,00216		0,22	CUMPLE

Tabla 6.12 Derivas de pisos, Análisis dinámico, Gobernantes

DERIVAS DE PISO (CONSULTA EXTERNA I), ANÁLISIS ESTÁTICO								
PISO	DIREC	COMB CARGA	NIVEL (m)	DERIVA X	DERIVA Y	DER X (%)	DER Y (%)	ESTADO
Tercero	X	COMB. 7	11,88	0,004016		0,40		CUMPLE
Tercero	Y	COMB. 6	11,88		0,003262		0,33	CUMPLE
Segundo	X	COMB. 7	7,92	0,005576		0,56		CUMPLE
Segundo	Y	COMB. 6	7,92		0,004785		0,48	CUMPLE
Primero	X	COMB. 7	3,96	0,004108		0,41		CUMPLE
Primero	Y	COMB. 6	3,96		0,003718		0,37	CUMPLE

Tabla 6.13 Derivas de pisos, Análisis estático, Consulta Externa I

DERIVAS DE PISO (CONSULTA EXTERNA I), ANÁLISIS DINÁMICO								
PISO	DIREC	COMB CARGA	NIVEL (m)	DERIVA X	DERIVA Y	DER X (%)	DER Y (%)	ESTADO
Tercero	X	COMB. 3	11,88	0,001932		0,19		CUMPLE
Tercero	Y	COMB. 3	11,88		0,001597		0,16	CUMPLE
Segundo	X	COMB. 3	7,92	0,002726		0,27		CUMPLE
Segundo	Y	COMB. 3	7,92		0,002317		0,23	CUMPLE
Primero	X	COMB. 3	3,96	0,001998		0,20		CUMPLE
Primero	Y	COMB. 3	3,96		0,001819		0,18	CUMPLE

Tabla 6.14 Derivas de pisos, Análisis dinámico, Consulta Externa I

DERIVAS DE PISO (CONSULTA EXTERNA II), ANÁLISIS ESTÁTICO								
PISO	DIREC	COMB CARGA	NIVEL (m)	DERIVA X	DERIVA Y	DER X (%)	DER Y (%)	ESTADO
Celos.	X	COMB. 3	14,00	0,001982		0,20		CUMPLE
Celos.	Y	COMB. 6	14,00		0,001424		0,14	CUMPLE
Tercero	X	COMB. 3	11,88	0,003566		0,36		CUMPLE
Tercero	Y	COMB. 6	11,88		0,002176		0,22	CUMPLE
Segundo	X	COMB. 3	7,92	0,004822		0,48		CUMPLE
Segundo	Y	COMB. 6	7,92		0,002323		0,23	CUMPLE
Primero	X	COMB. 3	3,96	0,00324		0,32		CUMPLE
Primero	Y	COMB. 6	3,96		0,001336		0,13	CUMPLE

Tabla 6.15 Derivas de pisos, Análisis estático, Consulta Externa II

DERIVAS DE PISO (CONSULTA EXTERNA II), ANÁLISIS DINÁMICO								
PISO	DIREC	COMB CARGA	NIVEL (m)	DERIVA X	DERIVA Y	DER X (%)	DER Y (%)	ESTADO
Celos.	X	COMB. 3	14,00	0,003804		0,38		CUMPLE
Celos.	Y	COMB. 3	14,00		0,006421		0,64	CUMPLE
Tercero	X	COMB. 3	11,88	0,00504		0,50		CUMPLE
Tercero	Y	COMB. 3	11,88		0,002815		0,28	CUMPLE
Segundo	X	COMB. 3	7,92	0,005474		0,55		CUMPLE
Segundo	Y	COMB. 3	7,92		0,003049		0,30	CUMPLE
Primero	X	COMB. 3	3,96	0,003427		0,34		CUMPLE
Primero	Y	COMB. 3	3,96		0,002373		0,24	CUMPLE

Tabla 6.16 Derivas de pisos, Análisis dinámico, Consulta Externa II

CONSIDERACIÓN DE LOS EFECTOS P - U1

Para el efecto la norma nos indica que debemos calcular el índice de estabilidad del piso Q_i , el mismo que debe estar en un intervalo de $0.1 < Q_i < 0.3$; si la estructura posee un $Q > 0.30$ es muy inestable y debe rigidizarse, mientras que si está en el intervalo indicado deben tomarse en cuenta los efectos P- determinados por la siguiente ecuación:

$$f_{P-A} = \frac{1}{1-Q_i}, \text{ (Ec.6.1)} \text{ y en caso de que } Q_i < 0.10 \text{ no es necesario tomar en}$$

cuenta estos efectos.

Para el cálculo de Q_i se necesita de la siguiente ecuación:

$$Q_i = \frac{P_i \cdot \Delta_i}{V_i \cdot H_i}, \text{ (Ec.6.2)}$$

Dónde: Q_i = índice de estabilidad del piso;

P_i = Suma de la carga vertical total sin mayorar,

Δ_i = Deriva de piso,

V_i = Cortante sísmico

H_i = altura del piso

DISTRIBUCIÓN DE CORTANTE BASAL Y CÁLCULO DE ÍNDICE DE ESTABILIDAD Q_i, HALL CENTRAL										
PISO	ÁREA m²	q t/m²	W_i Ton	h_i m	W_i*h_i Ton-m	F_i Ton	P_i Ton	U1	Q_i	ESTADO
7	710,19	0,819	581,65	27,72	16123,22	77,87	662,49	0,0040	0,001	CUMPLE
6	739,85	1,16	858,23	23,76	20391,45	507,47	1520,72	0,0044	0,001	CUMPLE
5	739,85	1,16	858,23	19,8	16992,87	422,89	2378,94	0,0047	0,001	CUMPLE
4	739,85	1,16	858,23	15,84	13594,30	338,31	3237,16	0,0049	0,003	CUMPLE
3	739,85	1,16	858,23	11,88	10195,72	253,73	4095,39	0,0046	0,006	CUMPLE
2	739,85	1,16	858,23	7,92	6797,15	169,16	4953,61	0,0036	0,013	CUMPLE
1	739,85	1,16	858,23	3,96	3398,57	84,58	5811,84	0,0017	0,029	CUMPLE
Suma	5149,29	-	5731,00	-	71370,07	1854,00	-	-	-	-

Tabla 6.17 Distribución de cortante basal, Cálculo de índice estabilidad, Hall Central

DISTRIBUCIÓN DE CORTANTE BASAL Y CÁLCULO DE ÍNDICE DE ESTABILIDAD Q_i , GOBERNANTES

PISO	ÁREA m^2	q t/m^2	W_i Ton	h_i m	$W_i \cdot h_i$ Ton-m	F_i Ton	P_i Ton	U1	Q_i	ESTADO
5	966,30	0,6	579,78	19,80	11479,61	75,30	637,08	0,0042	0,002	CUMPLE
4	931,26	1,06	987,13	15,84	15636,22	557,72	1624,22	0,0060	0,001	CUMPLE
3	907,50	1,06	961,95	11,88	11427,98	407,62	2586,17	0,0071	0,004	CUMPLE
2	896,22	0,92	824,52	7,92	6530,23	232,92	3410,69	0,0066	0,012	CUMPLE
1	896,22	0,43	385,38	3,96	1526,09	54,43	3796,07	0,0033	0,059	CUMPLE
Suma	3631,20	-	3738,76	-	35120,51	1328,00	-	-	-	

Tabla 6.18 Distribución de cortante basal, Cálculo de índice estabilidad, Gobernantes

DISTRIBUCIÓN DE CORTANTE BASAL Y CÁLCULO DE ÍNDICE DE ESTABILIDAD Q_i , CONSULTA EXTERNA I

PISO	ÁREA m^2	q t/m^2	W_i Ton	h_i m	$W_i \cdot h_i$ Ton-m	F_i Ton	P_i Ton	U1	Q_i	ESTADO
3	830,26	1,09	904,98	11,88	10751,20	61,82	904,98	0,0040	0,005	CUMPLE
2	849,60	1,22	1036,51	7,92	8209,18	1257,61	1941,50	0,0056	0,001	CUMPLE
1	914,03	1,24	1133,40	3,96	4488,25	687,58	3074,89	0,0041	0,005	CUMPLE
Suma	2593,89	-	3074,89	-	12697,43	2007,00	-	-	-	

Tabla 6.19 Distribución de cortante basal, Cálculo de índice estabilidad,
Cons. Externa I

DISTRIBUCIÓN DE CORTANTE BASAL Y CÁLCULO DE ÍNDICE DE ESTABILIDAD Q_i , CONSULTA EXTERNA II

PISO	ÁREA m^2	q t/m^2	W_i Ton	h_i m	$W_i \cdot h_i$ Ton-m	F_i Ton	P_i Ton	U1	Q_i	ESTADO
4	388,80	0,13	50,54	14,00	707,62	65,40	50,54	0,0020	0,0001	CUMPLE
3	662,57	1,09	722,20	11,88	8579,75	640,88	772,75	0,0036	0,0004	CUMPLE
2	1026,95	1,22	1252,88	7,92	9922,80	741,21	2025,62	0,0048	0,0017	CUMPLE
1	1048,30	1,24	1299,89	3,96	5147,57	384,51	3325,52	0,0032	0,0071	CUMPLE
Suma	3126,62	-	3325,52	-	23650,13	1832,00	-	-	-	

Tabla 6.20 Distribución de cortante basal, Cálculo de índice estabilidad,
Cons .Externa II

Podemos ver entonces que en todas las estructuras y en todos los niveles el índice de estabilidad Q_i es menor a 0.10 por lo que concluimos que no es necesario considerar efectos $P-\Delta$.

6.1.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL SEGÚN EL ACI318-08

El diseño de la estructura se lo hará con el ACI318-08, en el mismo que constan las diferentes combinaciones de cargas para el diseño, las mismas que se exponen a continuación.

$$U_1 = 1.4 \cdot D$$

$$U_2 = 1.2 \cdot D + 1.6 \cdot L$$

$$U_3 = 1.2 \cdot D + 1.0 \cdot L + 1.5 \cdot S_x$$

$$U_4 = 1.2 \cdot D + 1.0 \cdot L - 1.5 \cdot S_x$$

$$U_5 = 1.2 \cdot D + 1.0 \cdot L + 1.5 \cdot S_y$$

$$U_6 = 1.2 \cdot D + 1.0 \cdot L - 1.5 \cdot S_y$$

$$U_7 = 1.2 \cdot D + 1.5 \cdot S_x$$

$$U_8 = 1.2 \cdot D - 1.5 \cdot S_x$$

$$U_9 = 1.2 \cdot D + 1.5 \cdot S_y$$

$$U_{10} = 1.2 \cdot D - 1.5 \cdot S_y$$

$$U_{11} = 0.7 \cdot D + 1.5 \cdot S_x$$

$$U_{12} = 0.7 \cdot D - 1.5 \cdot S_x$$

$$U_{13} = 0.7 \cdot D + 1.5 \cdot S_y$$

$$U_{14} = 0.7 \cdot D - 1.5 \cdot S_y$$

CANTIDAD DE ACERO Y NÚMERO DE VARILLAS EN LAS COLUMNAS DE LOS EDIFICIOS

HALL CENTRAL:

NÚMERO DE VARILLAS POR TIPO DE COLUMNA

PISO	COLUMNA	NOMBRE	As(cm2)	TIPO	NUM VAR
TODOS	C1	COL100	176.88	I	22 32
	C25	COLDIAM100	147.84	II	24 28
	C9	COLDIAM100	147.84	III	24 28
	C12	COL100	176.88	IV	22 32
	C44	COLUMNETA	9,10	V	6 14

Tabla 6.21 N° de varillas por tipo de columna, Hall Central

GOBERNANTES:

PISO	COLUMNA	NOMBRE	As(cm2)	TIPO
PISO 6, 5, 4, 3	C1	COL100	100,00	I
PISO 2, 1	C1	COL100	258,79	I
PISO 6, 5, 4, 3	C2	COL100	100,00	I
PISO 2, 1	C2	COL100	251,47	I
PISO 6, 5, 4, 3	C3	COL100	100,00	I
PISO 2, 1	C3	COL100	249,38	I
PISO 6, 5, 4, 3	C4	COL100	100,00	I
PISO 2, 1	C4	COL100	248,26	I
PISO 6, 5, 4, 3	C5	COL100	100,00	I
PISO 2, 1	C5	COL100	246,66	I
PISO 6, 5, 4, 3	C6	COL100	100,00	I
PISO 2, 1	C6	COL100	165,30	I
PISO 6, 5, 4, 3	C7	COL100	100,00	IV
PISO 2, 1	C7	COL100	251,80	IV
PISO 6, 5, 4, 3	C8	COL100	100,00	IV
PISO 2, 1	C8	COL100	251,81	IV

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

PISO 6, 5, 4, 3	C9	COL100	100,00	IV
PISO 2, 1	C9	COL100	239,29	IV
PISO 6, 5, 4, 3	C10	COL100	100,00	IV
PISO 2, 1	C10	COL100	239,08	IV
PISO 6, 5, 4, 3	C11	COL100	100,00	I
PISO 2, 1	C11	COL100	258,26	I
PISO 6, 5, 4, 3	C12	COLDIAM100	78,54	II
PISO 2, 1	C12	COLDIAM100	174,51	II
PISO 6, 5, 4, 3	C13	COLDIAM100	78,54	II
PISO 2, 1	C13	COLDIAM100	174,29	II
PISO 6, 5, 4, 3	C14	COL100	100,00	I
PISO 2, 1	C14	COL100	250,83	I
PISO 6, 5, 4, 3	C15	COL100	100,00	I
PISO 2, 1	C15	COL100	248,92	I
PISO 6, 5, 4, 3	C16	COL100	100,00	I
PISO 2, 1	C16	COL100	247,01	I
PISO 6, 5, 4, 3	C17	COL100	100,00	I
PISO 2, 1	C17	COL100	245,21	I
PISO 6, 5, 4, 3	C18	COL100	100,00	I
PISO 2, 1	C18	COL100	243,44	I
PISO 5, 4, 3	C19	COLDIAM100	78,54	III
PISO 2, 1	C19	COLDIAM100	174,35	III
PISO 5, 4, 3	C20	COLDIAM100	78,54	III
PISO 2, 1	C20	COLDIAM100	174,09	III
PISO 5, 4, 3	C21	COLDIAM100	78,54	III
PISO 2, 1	C21	COLDIAM100	172,75	III
PISO 5, 4, 3	C22	COLDIAM100	78,54	III
PISO 2, 1	C22	COLDIAM100	172,47	III
PISO 5, 4, 3	C23	COLDIAM100	78,54	III
PISO 2, 1	C23	COLDIAM100	167,01	III
PISO 5, 4, 3	C24	COLDIAM100	78,54	III
PISO 2, 1	C24	COLDIAM100	166,68	III
PISO 5, 4, 3	C25	COLDIAM100	78,54	III
PISO 2, 1	C25	COLDIAM100	169,28	III
PISO 5, 4, 3	C26	COLDIAM100	78,54	III
PISO 2, 1	C26	COLDIAM100	169,03	III

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

PISO 5, 4, 3	C27	COLDIAM100	78,54	III
PISO 2, 1	C27	COLDIAM100	167,59	III
PISO 5, 4, 3	C28	COLDIAM100	78,54	III
PISO 2, 1	C28	COLDIAM100	165,61	III
PISO 6	C43	COLUMNETA	9,74	V
PISO 6	C44	COLUMNETA	9,10	V

Tabla 6.22 Tipo y área de acero en columnas, Gobernantes

NÚMERO DE VARILLAS POR TIPO DE COLUMNA

PISO	COLUMNA	NOMBRE	As(cm2)	TIPO	NUM VAR
TODOS	C1	COL100	258,79	I	34 32
	C12	COLDIAM100	174,51	II	26 32 8 28 +
	C19	COLDIAM100	174,35	III	26 32 8 28 +
	C8	COL100	251,81	IV	32 32
	C44	COLUMNETA	9,10	V	6 14

Tabla 6.23 N° de varillas por tipo de columna, Gobernantes

CONSULTA EXTERNA UNO:

PISO	COLUMNA	NOMBRE	As (cm2)	TIPO
PISO 3,2	C1	COL60X60	36,00	V
PISO 1	C1	COL60X60	89,88	V
PISO 3, 2	C2	COL60X60	55,92	V
PISO 1	C2	COL60X60	90,27	V
PISO 3, 2	C3	COL60X60	54,85	V
PISO 1	C3	COL60X60	89,39	V
PISO 3, 2	C4	COL60X60	54,92	V
PISO 1	C4	COL60X60	89,79	V
PISO 3, 2	C5	COL60X60	78,76	V
PISO 1	C5	COL60X60	106,06	V
PISO 3, 2	C6	COL60X60	58,81	IV
PISO 1	C6	COL60X60	106,59	IV
PISO 3, 2	C8	COL60X60	61,06	III
PISO 1	C8	COL60X60	94,01	III
PISO 3, 2	C9	COL60X60	60,00	III
PISO 1	C9	COL60X60	90,87	III
PISO 3, 2	C10	COL60X60	60,27	III
PISO 1	C10	COL60X60	90,00	III

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

PISO 3, 2	C11	COL60X60	59,97	III
PISO 1	C11	COL60X60	88,28	III
PISO 3, 2	C12	COL60X60	77,21	III
PISO 1	C12	COL60X60	103,66	III
PISO 3, 2	C13	COL60X60	62,53	IV
PISO 1	C13	COL60X60	104,67	IV
PISO 3, 2	C15	COL60X60	59,84	III
PISO 1	C15	COL60X60	92,88	III
PISO 3, 2	C16	COL60X60	58,39	III
PISO 1	C16	COL60X60	89,47	III
PISO 3, 2	C17	COL60X60	59,27	III
PISO 1	C17	COL60X60	89,62	III
PISO 3, 2	C18	COL60X60	59,12	III
PISO 1	C18	COL60X60	87,80	III
PISO 3, 2	C19	COL60X60	74,26	III
PISO 1	C19	COL60X60	102,34	III
PISO 3, 2	C20	COL60X60	57,85	IV
PISO 1	C20	COL60X60	106,00	IV
PISO 3, 2	C22	COL60X60	51,33	III
PISO 1	C22	COL60X60	83,46	III
PISO 3, 2	C23	COL60X60	52,30	III
PISO 1	C23	COL60X60	83,10	III
PISO 3, 2	C24	COL60X60	51,58	III
PISO 1	C24	COL60X60	82,67	III
PISO 3, 2	C25	COL60X60	53,27	III
PISO 1	C25	COL60X60	83,85	III
PISO 3, 2	C26	COL60X60	55,32	III
PISO 1	C26	COL60X60	89,21	III
PISO 3, 2	C27	COL60X60	50,59	III
PISO 1	C27	COL60X60	83,95	III
PISO 3, 2	C28	COL60X60	52,42	III
PISO 1	C28	COL60X60	82,76	III
PISO 3, 2	C29	COL60X60	51,20	III
PISO 1	C29	COL60X60	81,68	III
PISO 3, 2	C30	COL60X60	52,42	III
PISO 1	C30	COL60X60	82,14	III
PISO 3, 2	C31	COL60X60	57,98	VI
PISO 1	C31	CIRCX60	68,17	VI
PISO 1	C32	CIRCX60	84,35	VII
PISO 1	C44	CIRCX60	82,30	VII
PISO 3, 2	C45	COL60X60	79,04	VI
PISO 1	C45	CIRCX60	73,48	VI
PISO 2	C46	COL60X60	51,35	I

PISO 1	C46	COL60X60	99,22	I
PISO 2	C47	COL60X60	61,83	I
PISO 1	C47	COL60X60	97,87	I
PISO 2	C48	COL60X60	61,29	I
PISO 1	C48	COL60X60	97,86	I
PISO 3, 2	C49	COL60X60	59,85	II
PISO 1	C49	COL60X60	98,74	II
PISO 3, 2	C50	COL60X60	51,52	II
PISO 1	C50	COL60X60	98,10	II
PISO 3, 2	C51	COL60X60	63,22	III
PISO 1	C51	COL60X60	95,21	III
PISO 3, 2	C52	COL60X60	61,92	III
PISO 1	C52	COL60X60	92,33	III
PISO 3, 2	C53	COL60X60	62,46	III
PISO 1	C53	COL60X60	92,25	III
PISO 3, 2	C54	COL60X60	64,14	III
PISO 1	C54	COL60X60	93,99	III

Tabla 6.24 Tipo y área de acero en columnas, Consulta Externa I

NÚMERO DE VARILLAS POR TIPO DE COLUMNA

PISO	COLUMNA	NOMBRE	As (cm2)	TIPO	NUM VAR
PISO 2, 1	C46	COL60X60	99,218	I	18 25 + 4 20
PISO 3, 2	C50	COL60X60	51,521	II	20 20
PISO 1	C50	COL60X60	98,099	II	20 25
PISO 3, 2	C8	COL60X60	61,057	III	16 25 + 8 20
PISO 3, 2	C13	COL60X60	62,527	IV	8 25 + 8 20
PISO 1	C13	COL60X60	104,669	IV	22 25
PISO 3, 2	C5	COL60X60	78,759	V	16 25
PISO 1	C5	COL60X60	106,059	V	22 25
PISO 3, 2, 1	C45	CIRCX60	73,483	VI	16 25
PISO 1	C44	CIRCX60	82,295	VII	8 20 + 12 25

Tabla 6.25 N° de varillas por tipo de columna, Consulta Externa I

CONSULTA EXTERNA DOS:

PISO	COLUMNA	NOMBRE	As (cm2)	TIPO
PISO 3´	C1	COL60X30	18,00	XI
PISO 3, 2	C1	COL60X60	36,00	XI
PISO 1	C1	COL60X60	104,98	XI
PISO 3´	C2	COL60X30	18,00	X
PISO 3, 2	C2	COL60X60	36,00	X
PISO 1	C2	COL60X60	39,27	X
PISO 3´	C3	COL60X30	18,00	X
PISO 3, 2	C3	COL60X60	36,00	X
PISO 1	C3	COL60X60	36,00	X
PISO 3´	C4	COL60X30	18,00	X
PISO 3, 2	C4	COL60X60	36,00	X
PISO 1	C4	COL60X60	36,00	X
PISO 3´	C5	COL60X30	18,00	XI
PISO 3, 2	C5	COL60X60	102,01	XI
PISO 1	C5	COL60X60	103,00	XI
PISO 3´	C6	COL60X60	24,00	XI
PISO 3, 2	C6	COL60X60	24,00	XI
PISO 1	C6	COL60X60	82,80	XI
PISO 3´	C8	COL60X30	18,00	X
PISO 3, 2	C8	COL60X60	49,98	X
PISO 1	C8	COL60X60	38,66	X
PISO 2	C9	COL60X60	36,00	IX
PISO 1	C9	COL60X60	36,00	IX
PISO 2	C10	COL60X60	36,00	IX
PISO 1	C10	COL60X60	36,00	IX
PISO 3´	C11	COL60X30	18,00	X
PISO 3, 2	C11	COL60X60	36,00	X
PISO 1	C11	COL60X60	36,00	X
PISO 3, 2	C12	COL60X60	46,60	VIII
PISO 1	C12	COL60X60	51,25	VIII
PISO 3´	C13	COL40X60	24,00	XII
PISO 3, 2	C13	COL40X60	42,95	XII
PISO 1	C13	COL40X60	37,18	XII
PISO 3, 2	C27	COL60X60	36,00	VIII
PISO 1	C27	COL60X60	57,49	VIII
PISO 3, 2	C28	COL60X60	43,26	VIII
PISO 1	C28	COL60X60	57,78	VIII
PISO 3, 2	C29	COL60X60	40,17	VIII
PISO 1	C29	COL60X60	55,43	VIII

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

PISO 3, 2	C30	COL60X60	39,20	VIII
PISO 1	C30	COL60X60	55,99	VIII
PISO 3, 2	C31	COL60X60	58,44	VIII
PISO 1	C31	COL60X60	65,15	VIII
PISO 3, 2	C44	COL60X60	36,00	V
PISO 1	C44	COL60X60	65,49	V
PISO 3, 2	C45	COL60X60	52,83	V
PISO 1	C45	COL60X60	65,06	V
PISO 3, 2	C46	COL60X60	51,40	V
PISO 1	C46	COL60X60	63,96	V
PISO 3, 2	C47	COL60X60	52,19	V
PISO 1	C47	COL60X60	65,19	V
PISO 3, 2	C48	COL60X60	36,00	V
PISO 1	C48	COL60X60	65,08	V
PISO 3, 2	C49	COL60X60	36,00	VIII
PISO 1	C49	COL60X60	59,92	VIII
PISO 3, 2	C50	COL60X60	43,58	VIII
PISO 1	C50	COL60X60	56,16	VIII
PISO 3, 2	C51	COL60X60	40,30	VIII
PISO 1	C51	COL60X60	55,22	VIII
PISO 3, 2	C52	COL60X60	42,89	VIII
PISO 1	C52	COL60X60	56,56	VIII
PISO 3, 2	C53	COL60X60	59,55	VIII
PISO 1	C53	COL60X60	67,70	VIII
PISO 3´	C54	COL60X30	18,00	XIII
PISO 3, 2	C54	COL60X60	36,00	XIII
PISO 1	C54	COL60X60	80,68	XIII
PISO 3´	C55	COL60X30	18,00	XIII
PISO 3, 2	C55	COL60X60	36,00	XIII
PISO 1	C55	COL60X60	49,47	XIII
PISO 3´	C56	COL60X30	18,00	XIII
PISO 3, 2	C56	COL60X60	36,00	XIII
PISO 1	C56	COL60X60	47,04	XIII
PISO 3´	C57	COL60X30	18,00	XIII
PISO 3, 2	C57	COL60X60	36,00	XIII
PISO 1	C57	COL60X60	92,72	XIII
PISO 3´	C58	COL60X30	18,00	XIII
PISO 3, 2	C58	COL60X60	52,20	XIII
PISO 1	C58	COL60X60	59,71	XIII
PISO 3´	C59	COL60X30	18,00	X
PISO 3, 2	C59	COL60X60	36,00	X
PISO 1	C59	COL60X60	50,10	X
PISO 2	C60	COL60X60	40,98	IX
PISO 1	C60	COL60X60	42,83	IX

PISO 2	C61	COL60X60	37,52	IX
PISO 1	C61	COL60X60	41,26	IX
PISO 3´	C62	COL60X30	18,00	X
PISO 3, 2	C62	COL60X60	37,58	X
PISO 1	C62	COL60X60	41,27	X
PISO 3, 2	C63	COL60X60	48,85	VIII
PISO 1	C63	COL60X60	55,40	VIII
PISO 3´	C64	COL40X60	24,00	XII
PISO 3, 2	C64	COL40X60	37,02	XII
PISO 1	C64	COL40X60	37,30	XII
PISO 3´	C65	COL40X60	24,00	XII
PISO 3, 2	C65	COL40X60	40,24	XII
PISO 1	C65	COL40X60	42,23	XII
PISO 3, 2	C66	COL40X60	42,27	XII
PISO 1	C66	COL40X60	42,50	XII
PISO 3, 2	C67	COL40X60	45,85	VIII
PISO 1	C67	COL40X60	47,73	VIII
TODOS	C77-3	COLUMNETA20X30	9,00	XIV

Tabla 6.26 Tipo y área de acero en columnas, Consulta Externa II

NÚMERO DE VARILLAS POR TIPO DE COLUMNA

PISO	COLUMNA	NOMBRE	As (cm2)	TIPO	NUM VAR
PISO 3, 2	C44	COL60X60	36,00	V	12 22
PISO 1	C44	COL60X60	65,49	V	12 28
PISO 3, 2	C53	COL60X60	59,55	VIII	16 22
PISO 1	C53	COL60X60	67,70	VIII	4 25 + 8 28
PISO 2, 1	C60	COL60X60	42,83	IX	12 22
PISO 3´	C59	COL60X30	18,00	X	10 22
PISO 3, 2	C59	COL60X60	36,00	X	6 22 + 6 25
PISO 1	C59	COL60X60	50,10	X	6 25 + 6 28
PISO 3´	C1	COL60X30	18,00	XI	6 20
PISO 3, 2	C1	COL60X60	36,00	XI	4 22 + 14 28
PISO 1	C1	COL60X60	104,98	XI	4 25 + 14 28
PISO 3´	C65	COL40X60	24,00	XII	10 22
PISO 3, 2	C65	COL40X60	40,24	XII	6 22 + 4 25
PISO 1	C65	COL40X60	42,23	XII	6 22 + 4 25
PISO 3´	C57	COL60X30	18,00	XIII	14 22
PISO 3, 2	C57	COL60X60	36,00	XIII	12 28 + 4 25
PISO 1	C57	COL60X60	92,72	XIII	12 28 +

					4 25
TODOS	C77-3	COLUMNETA	9,00	XIV	6 14

Tabla 6.27 N° de varillas por tipo de columna, Consulta Externa II

ACERO EN LAS VIGAS POR PÓRTICOS EN LOS EDIFICIOS

HALL CENTRAL:

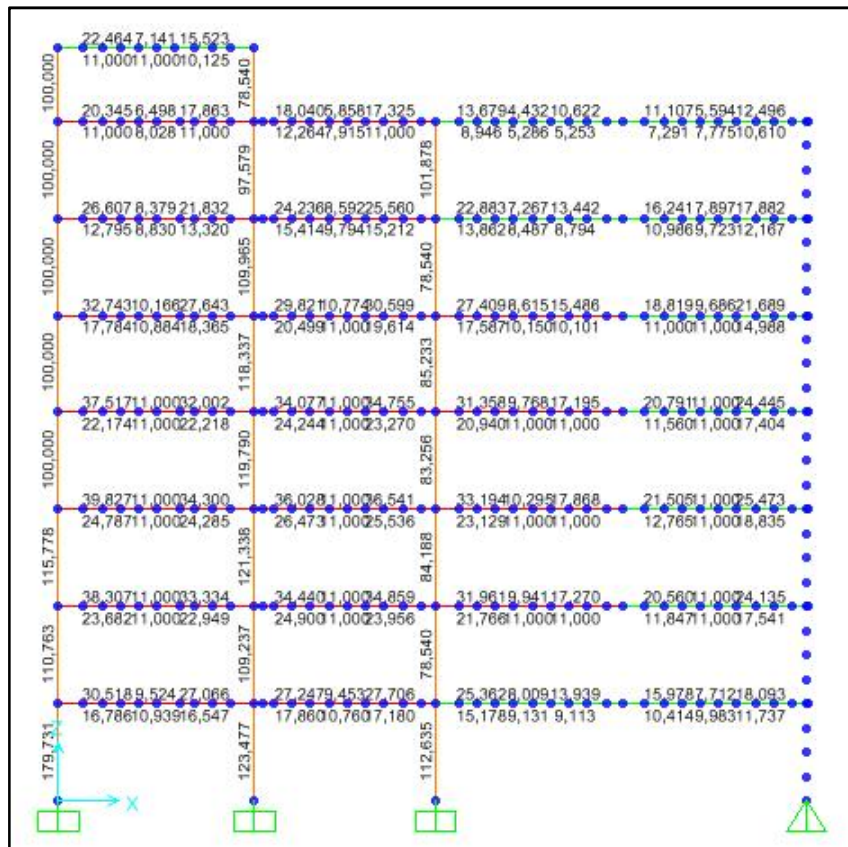


Fig.6.19. Acero en vigas pórtico I, Hall Central

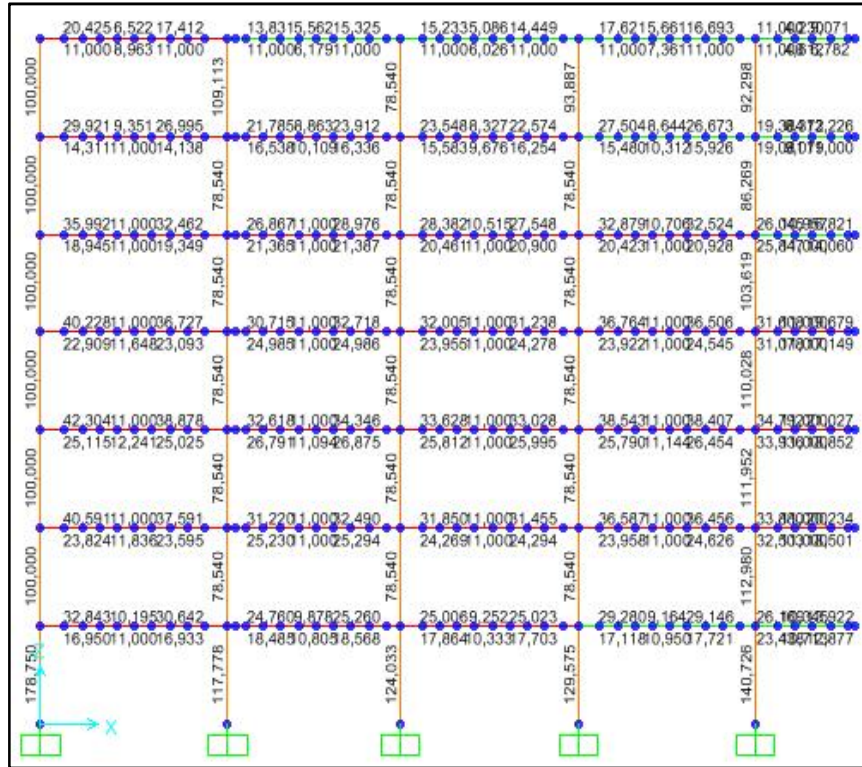


Fig.6.20. Acero en vigas pórtico M, Hall Central

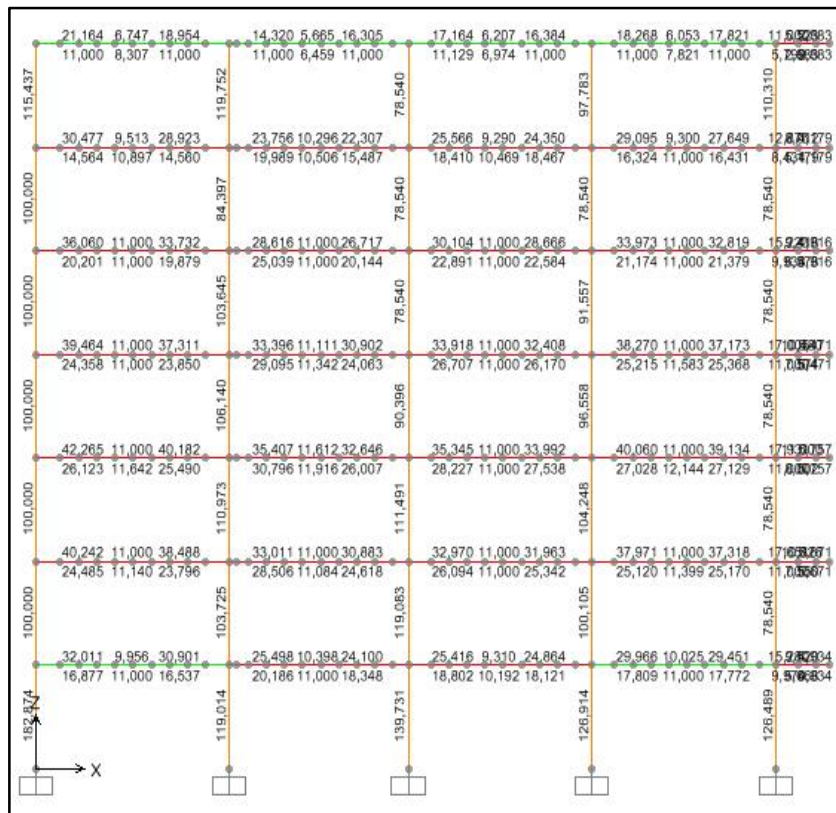


Fig.6.21. Acero en vigas pórtico N, Hall Central

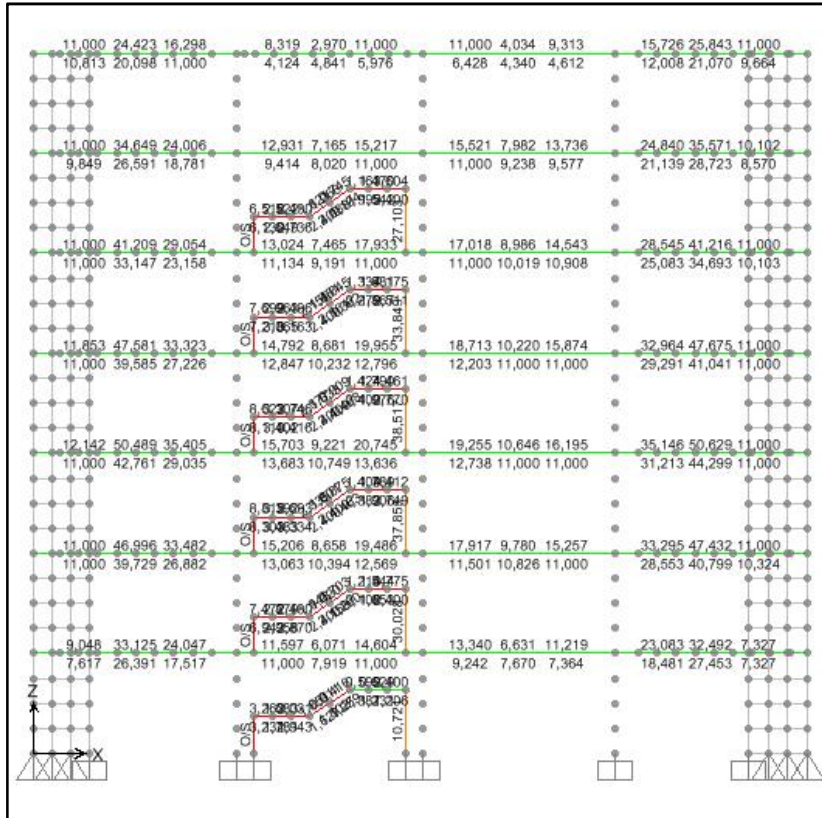


Fig.6.22. Acero en vigas pórtico O, Hall Central

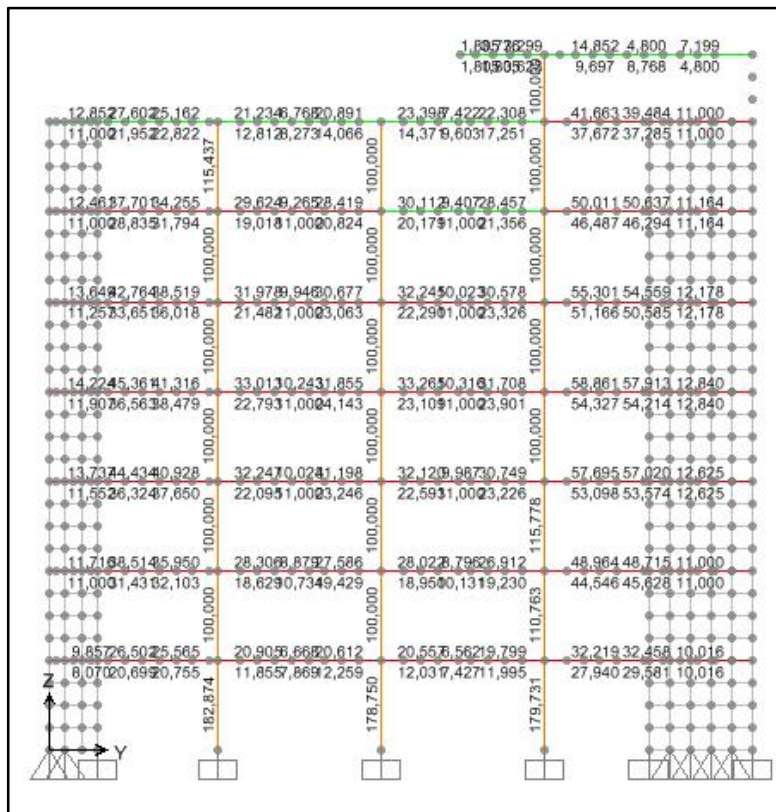


Fig.6.23. Acero en vigas pórtico 8, Hall Central

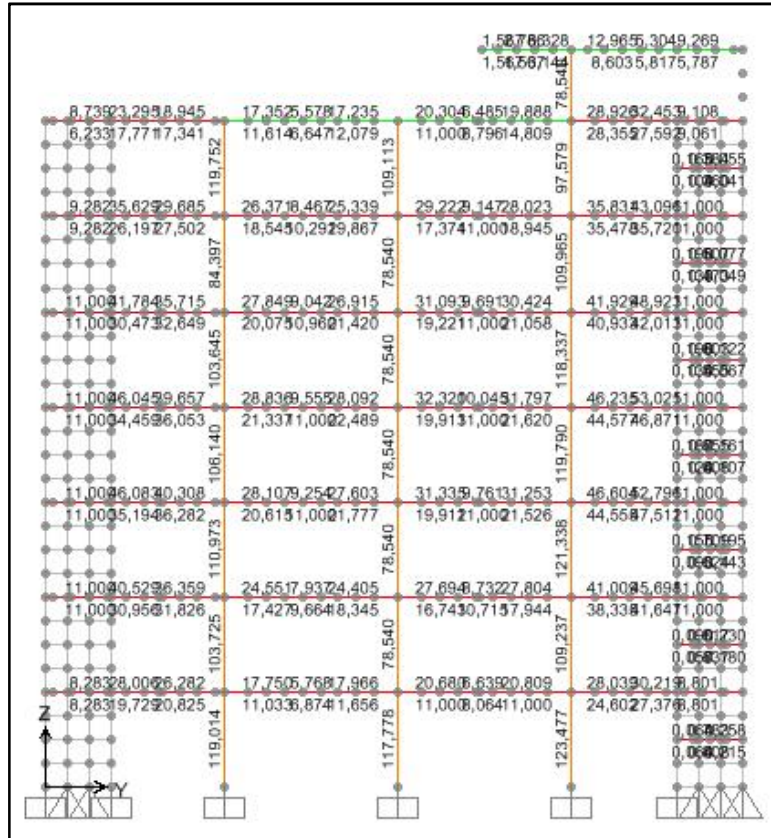


Fig.6.24. Acero en vigas pórtico 9, Hall Central

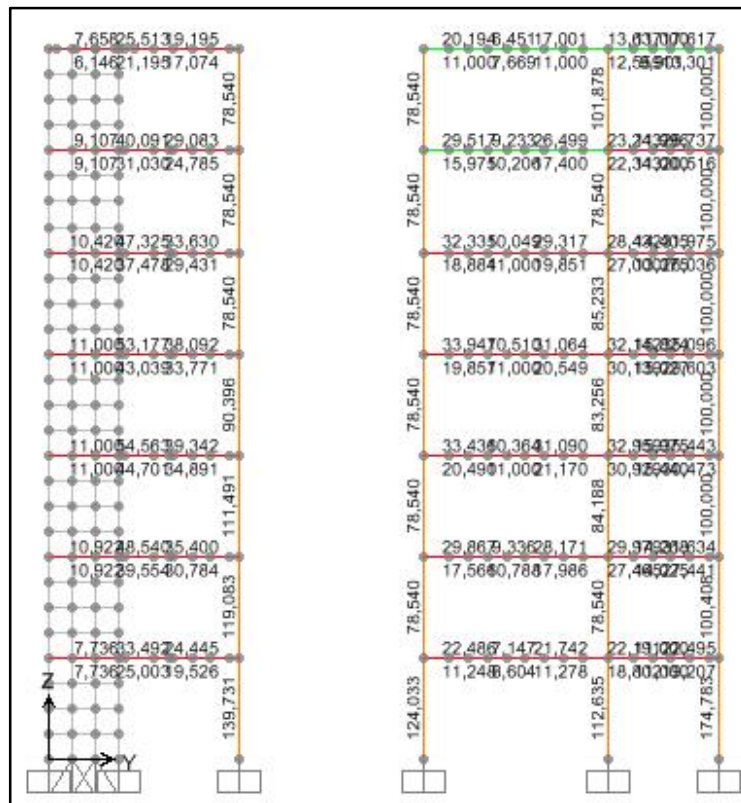


Fig.6.25. Acero en vigas pórtico 10, Hall Central

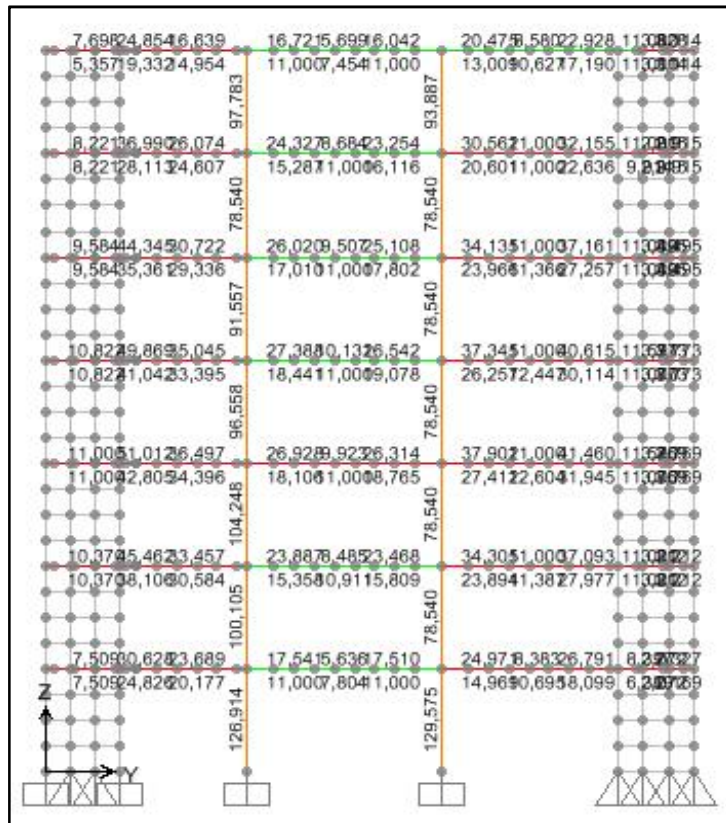


Fig.6.26. Acero en vigas pórtico 11, Hall Central

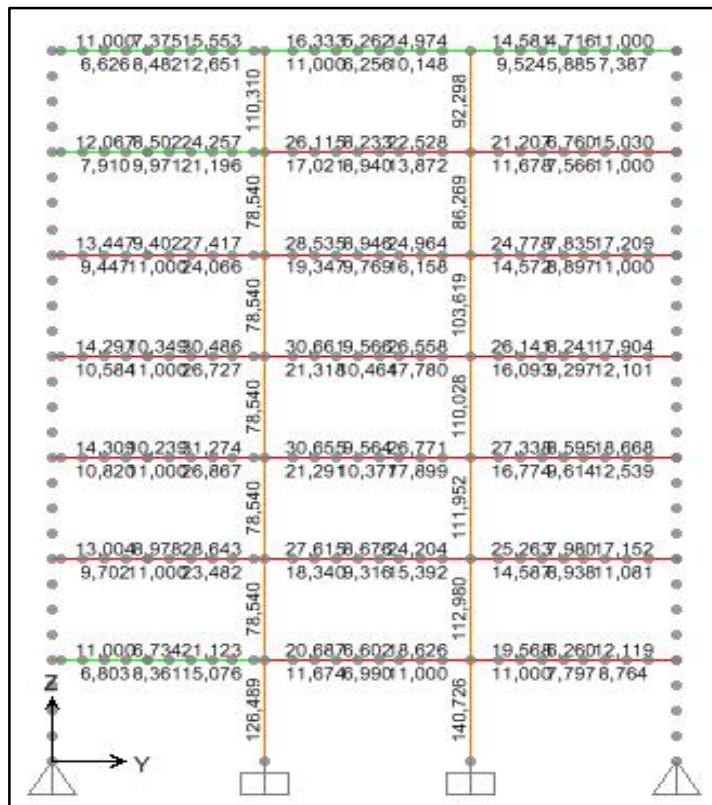


Fig.6.27. Acero en vigas pórtico 12, Hall Central

GOBERNANTES:

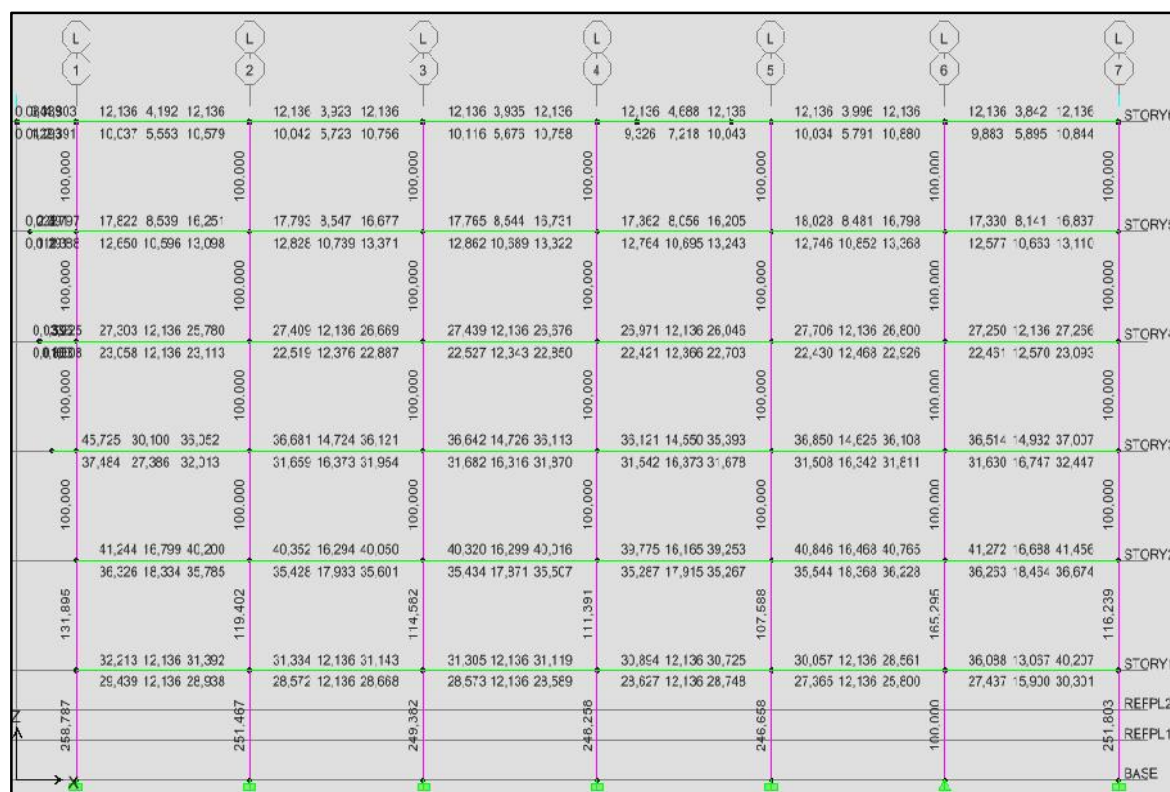


Fig.6.28. Acero en vigas pórtico I, Gobernantes

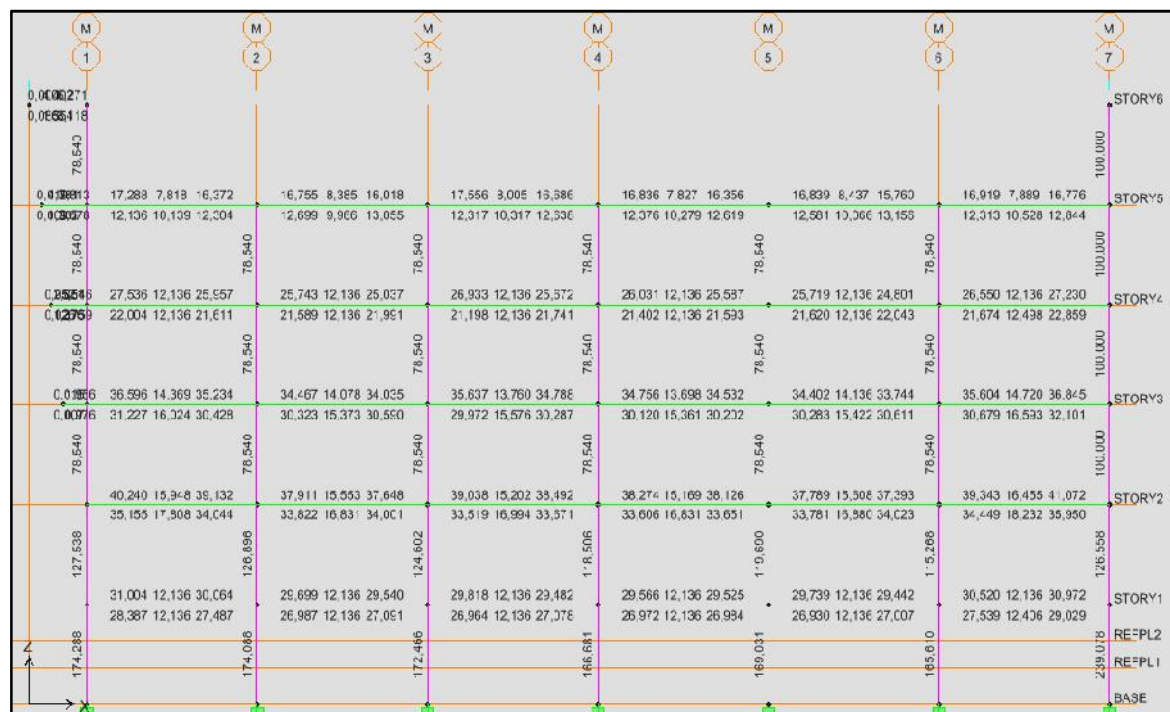


Fig.6.29. Acero en vigas pórtico M, Gobernantes

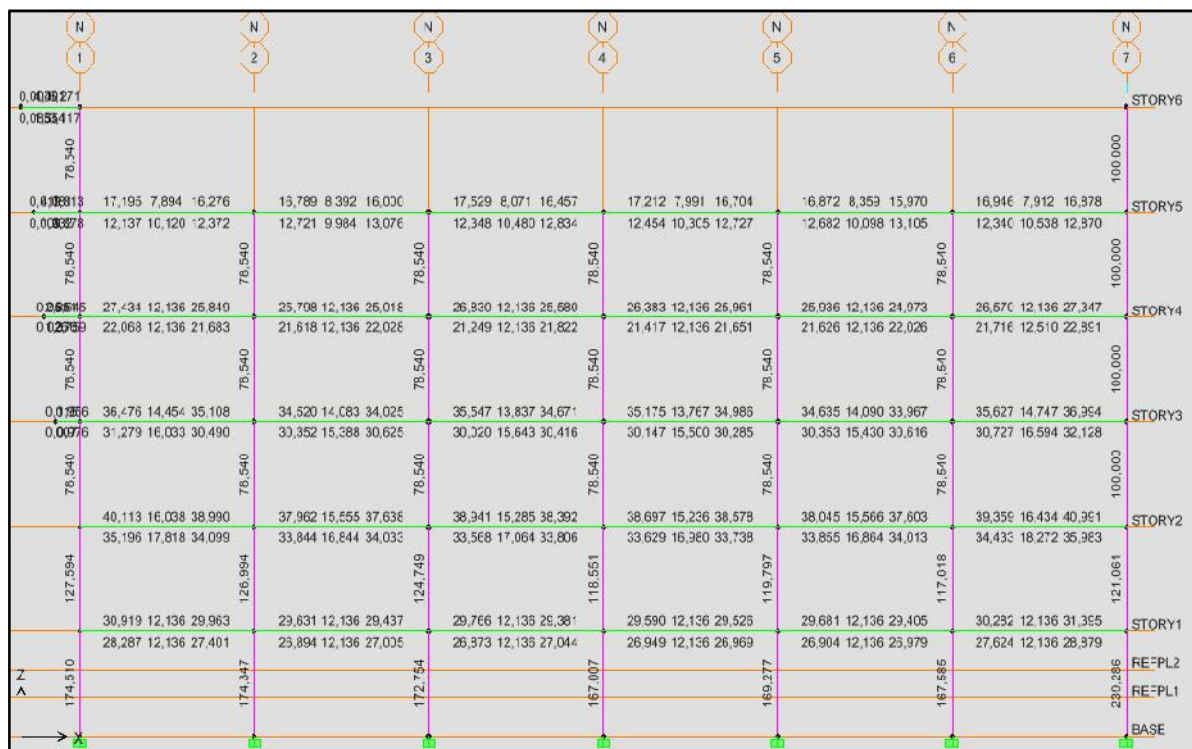


Fig.6.30. Acero en vigas pórtico N, Gobernantes

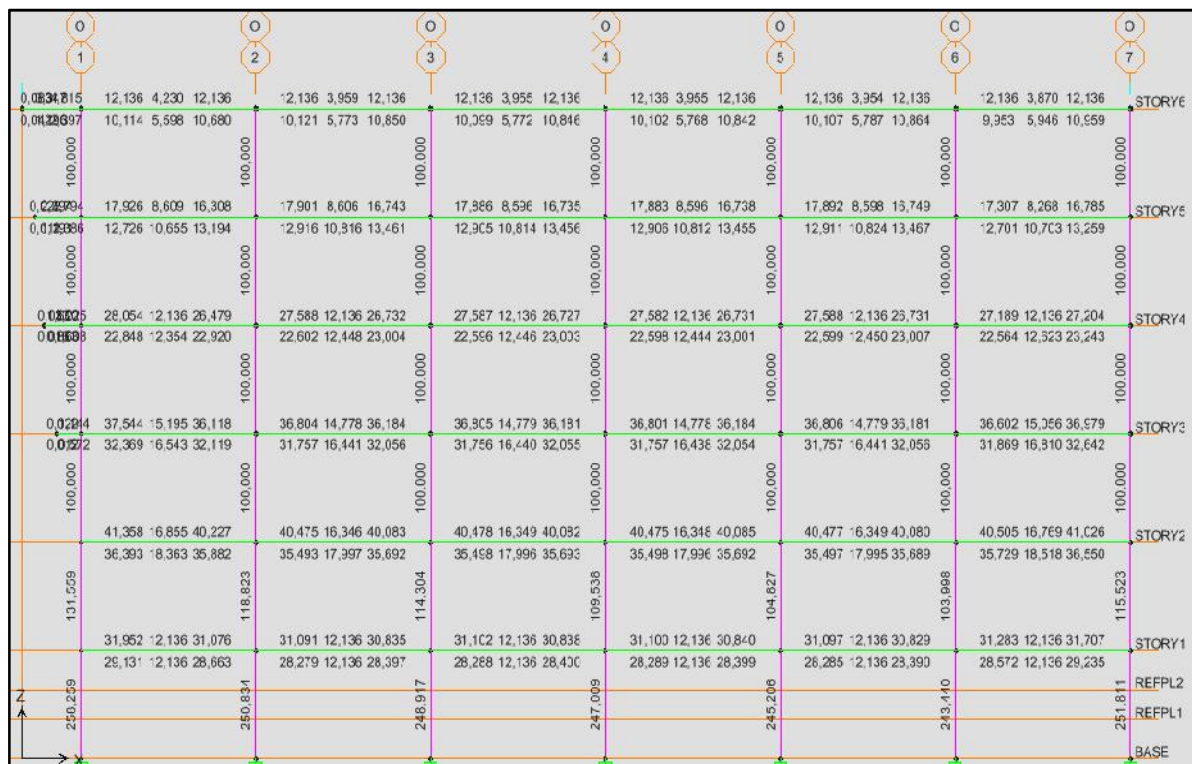


Fig.6.31. Acero en vigas pórtico O, Gobernantes

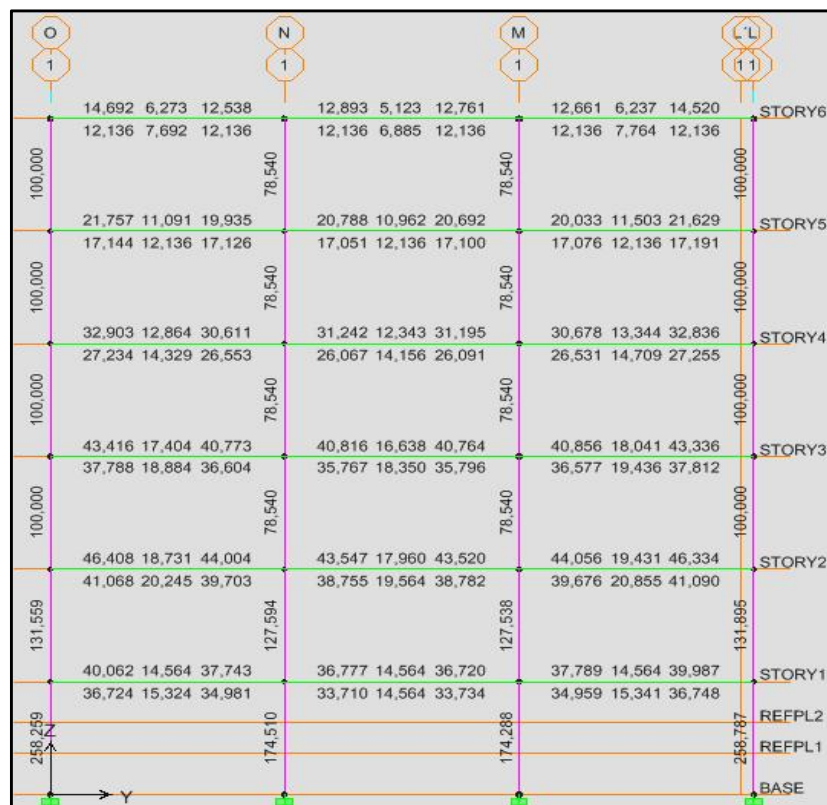


Fig.6.32.Acero en vigas pórtico 1, Gobernantes

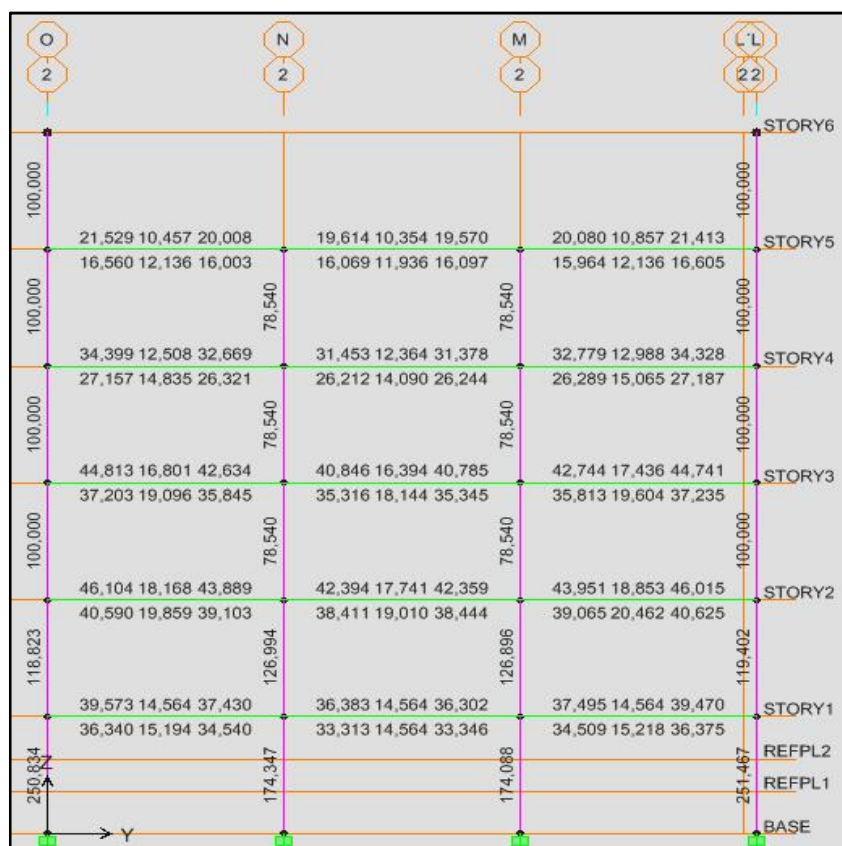


Fig.6.33.Acero en vigas pórtico 2, Gobernantes

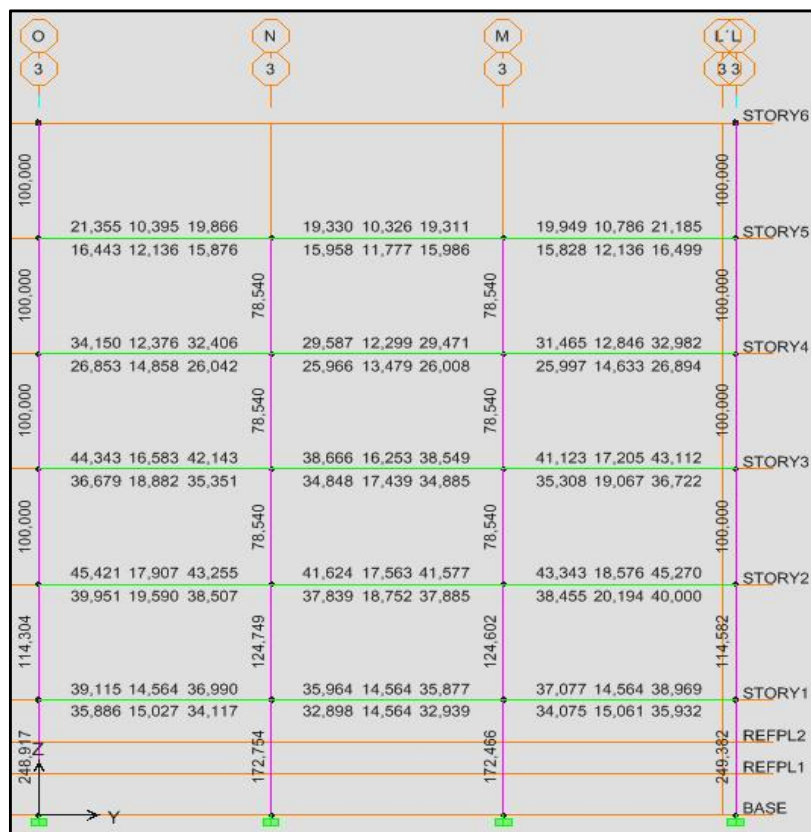


Fig.6.34. Acero en vigas pórtico 3, Gobernantes

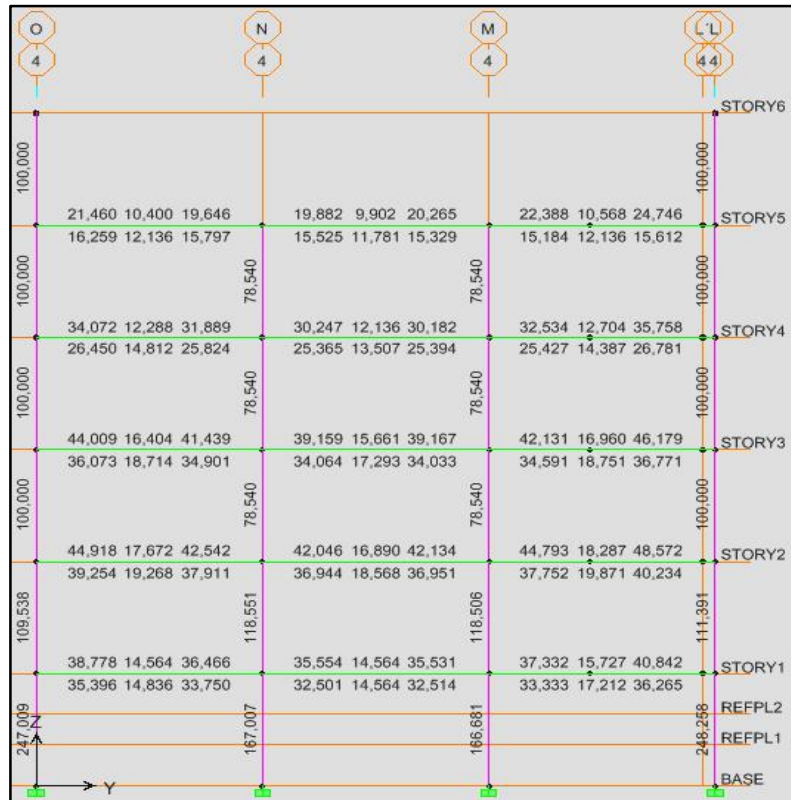


Fig.6.35. Acero en vigas pórtico 4, Gobernantes

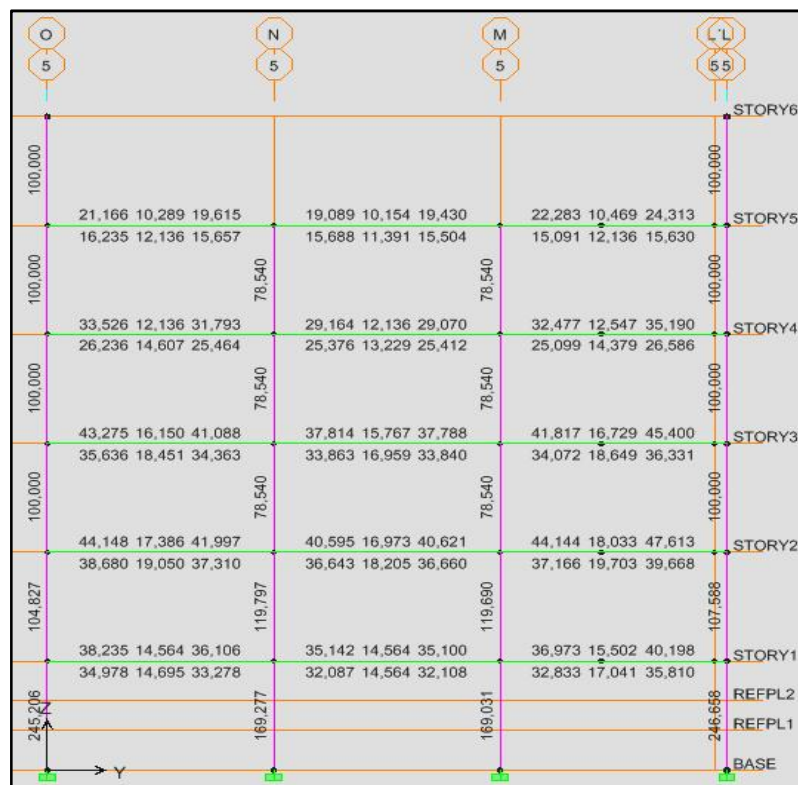


Fig.6.36. Acero en vigas pórtico 5, Gobernantes

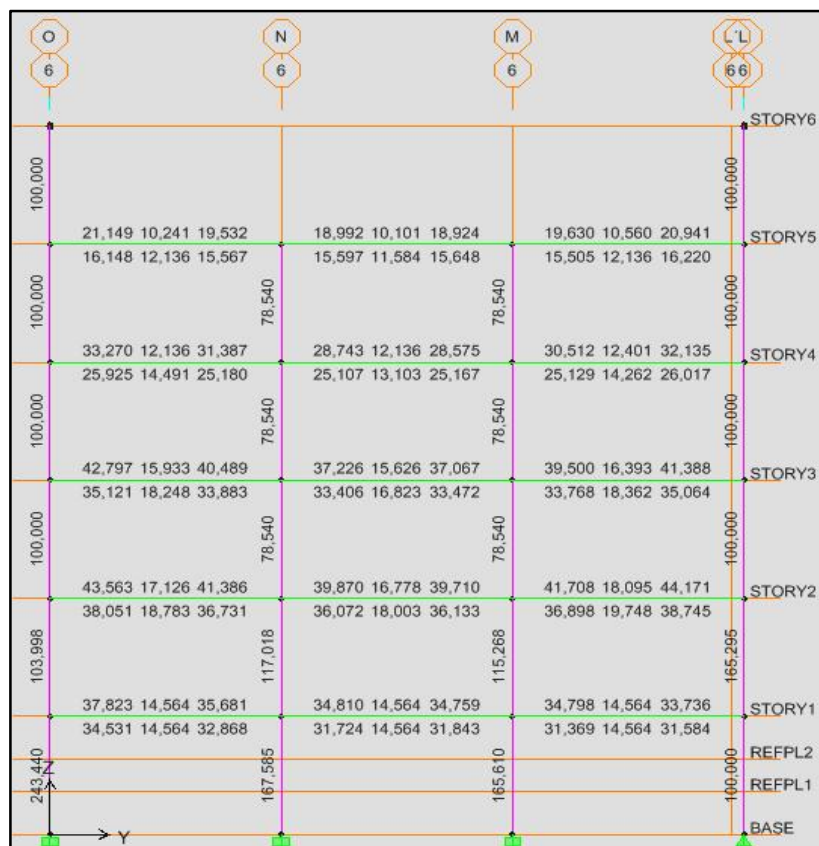


Fig.6.37. Acero en vigas pórtico 6, Gobernantes

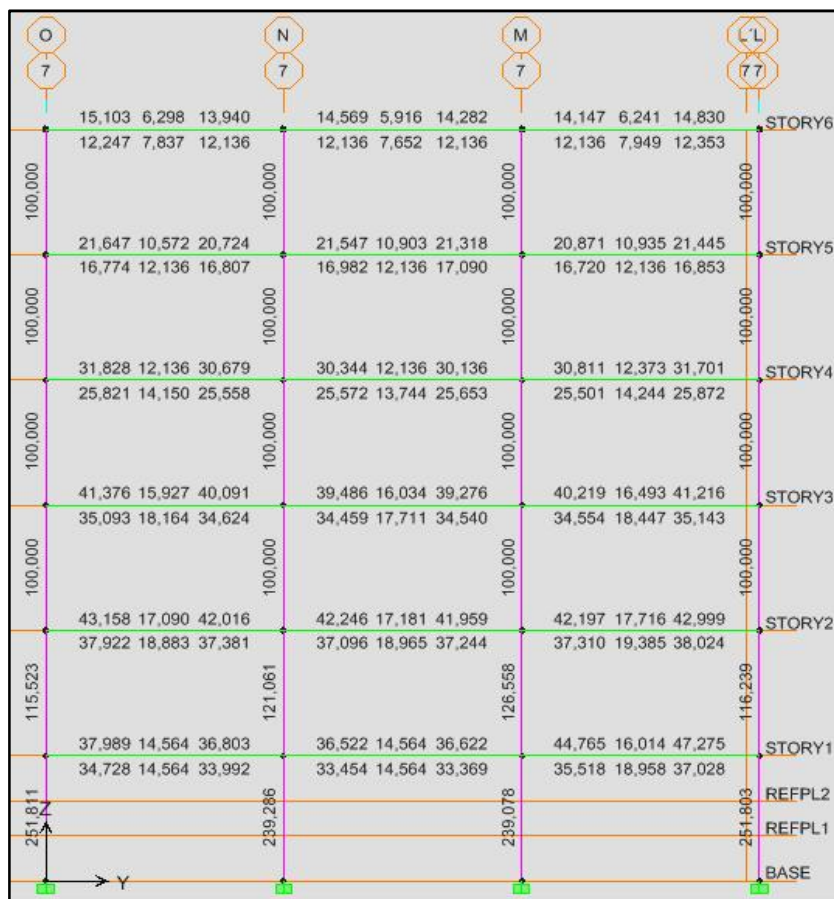


Fig.6.38. Acero en vigas pórtico 7, Gobernantes

CONSULTA EXTERNA UNO:

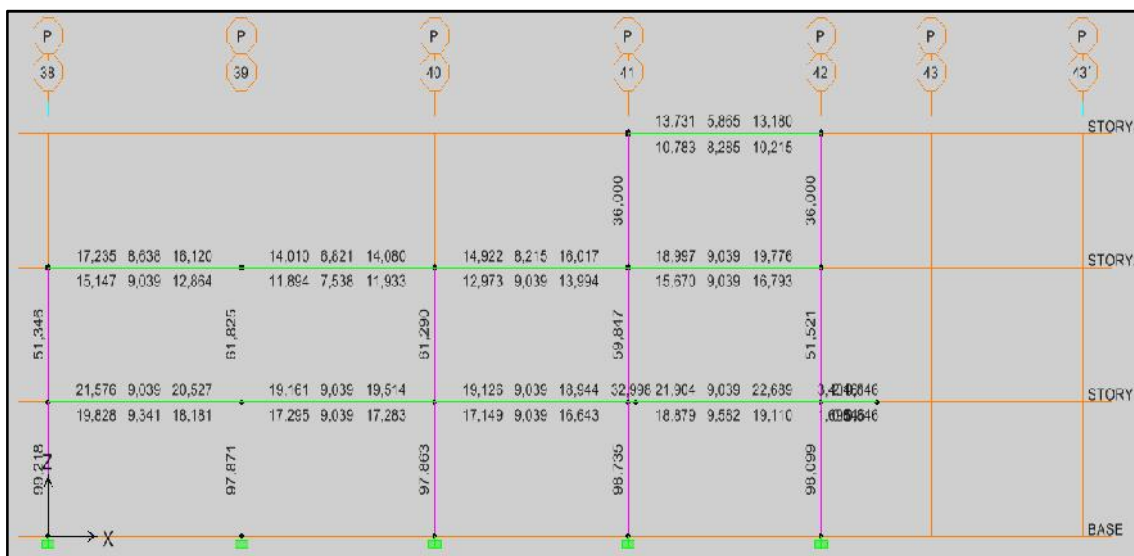


Fig.6.39. Acero en vigas pórtico P, Consulta Externa I

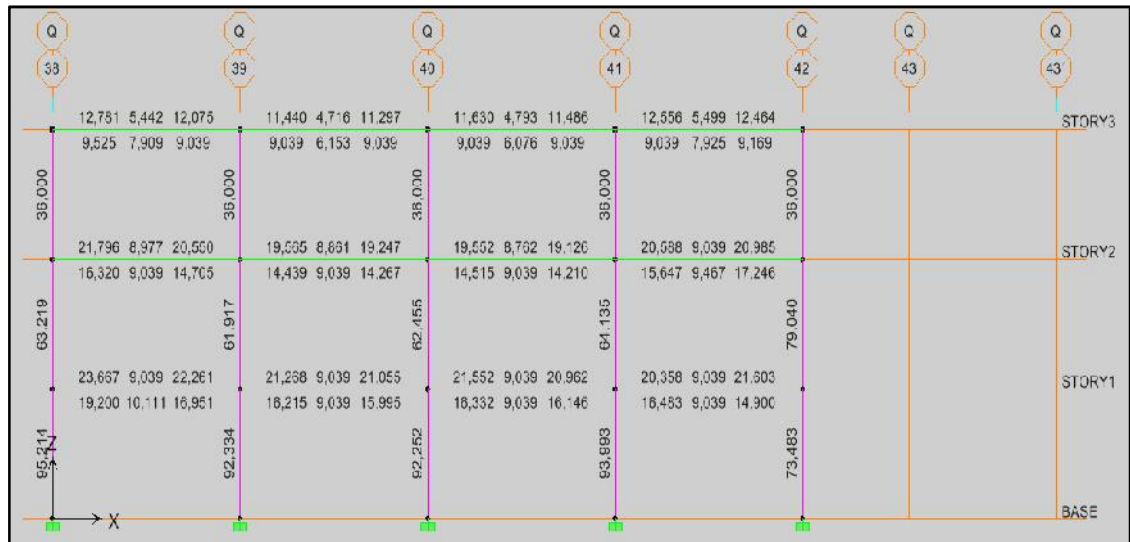


Fig.6.40.Acero en vigas pórtico Q, Consulta Externa I

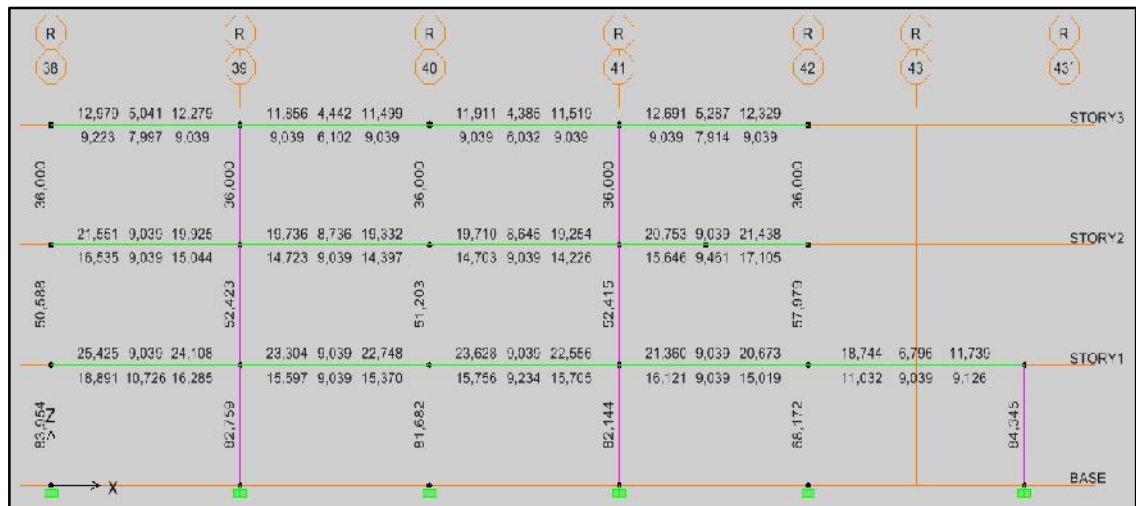


Fig.6.41.Acero en vigas pórtico R, Consulta Externa I

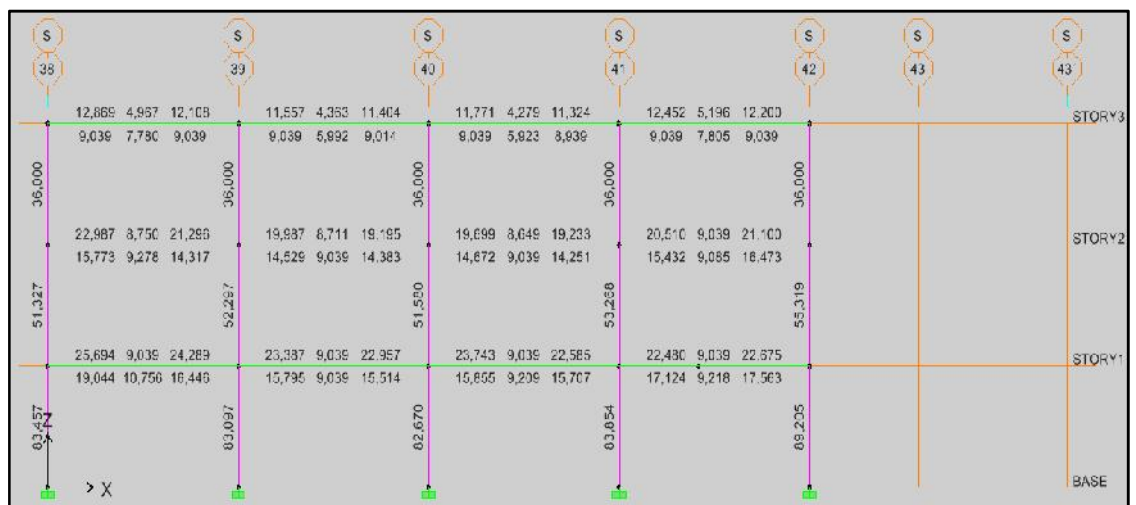


Fig.6.42.Acero en vigas pórtico S, Consulta Externa I

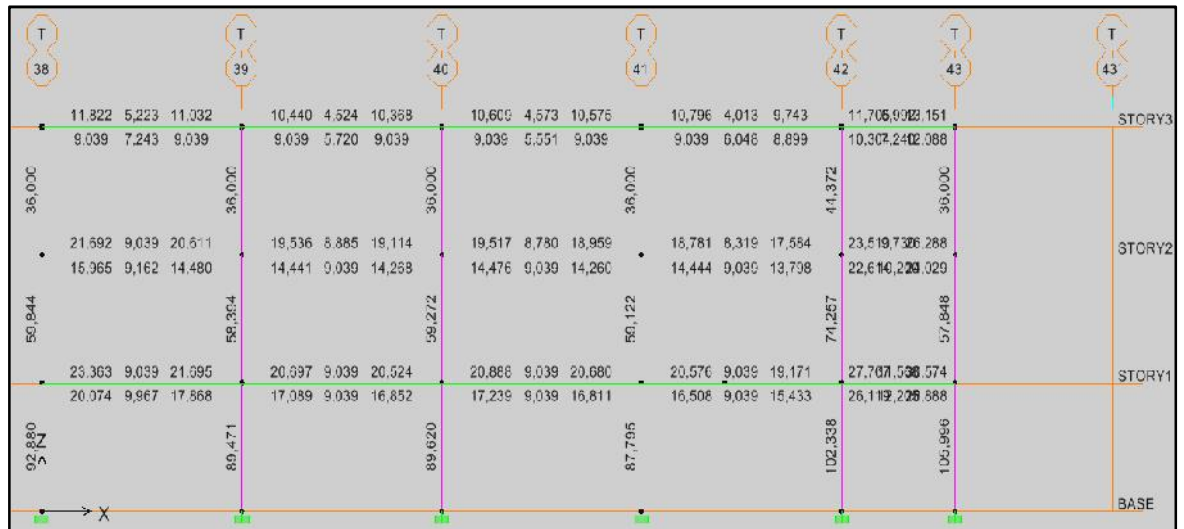


Fig.6.43. Acero en vigas pórtico T, Consulta Externa I

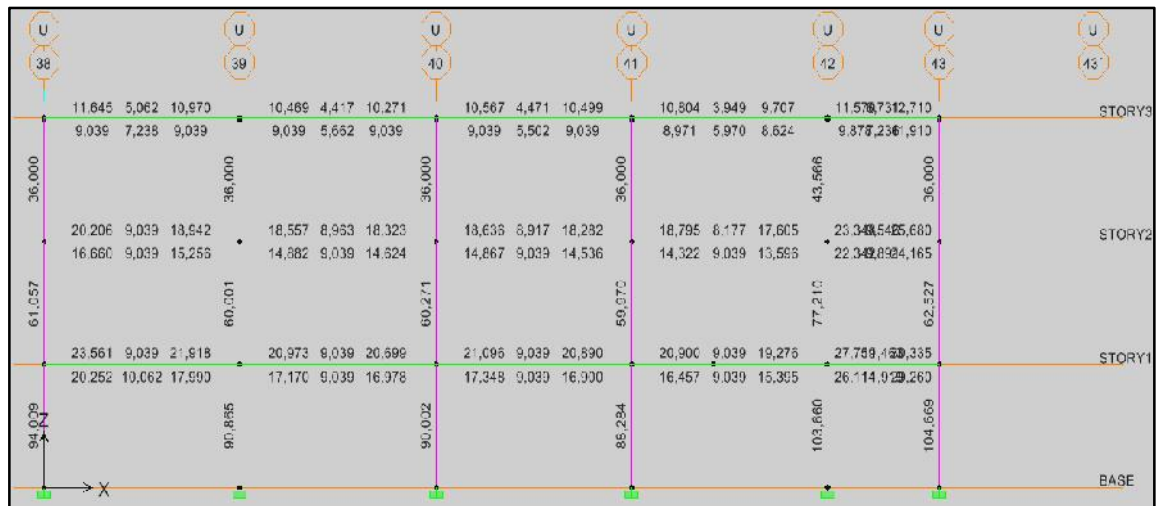


Fig.6.44. Acero en vigas pórtico U, Consulta Externa I

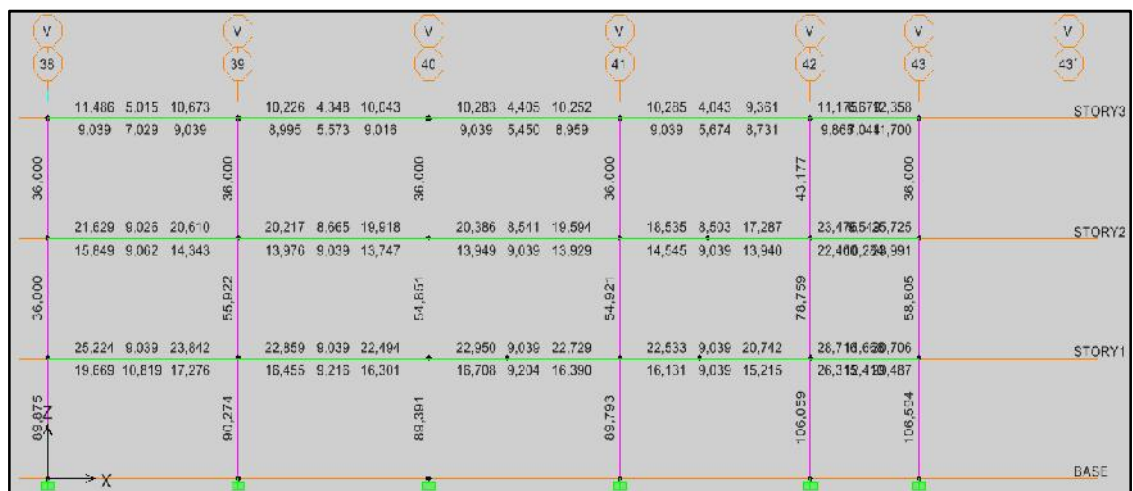


Fig.6.45. Acero en vigas pórtico V, Consulta Externa I

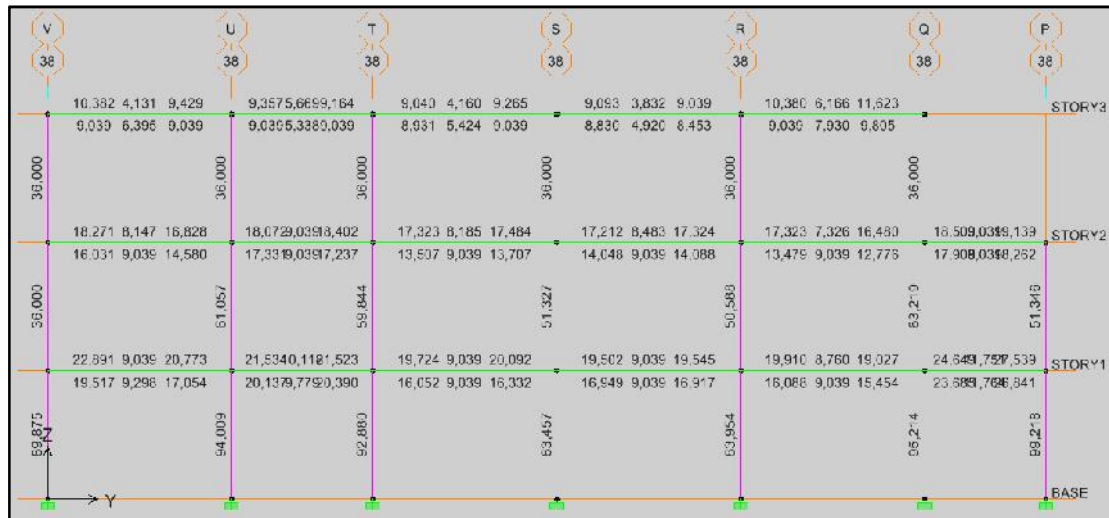


Fig.6.46.Acero en vigas pórtico 38, Consulta Externa I

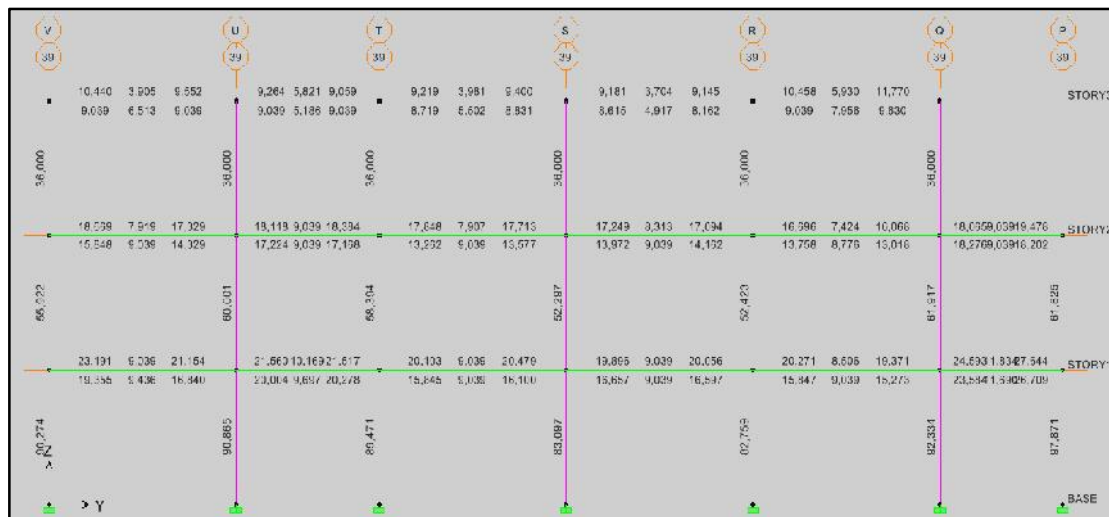


Fig.6.47.Acero en vigas pórtico 39, Consulta Externa I

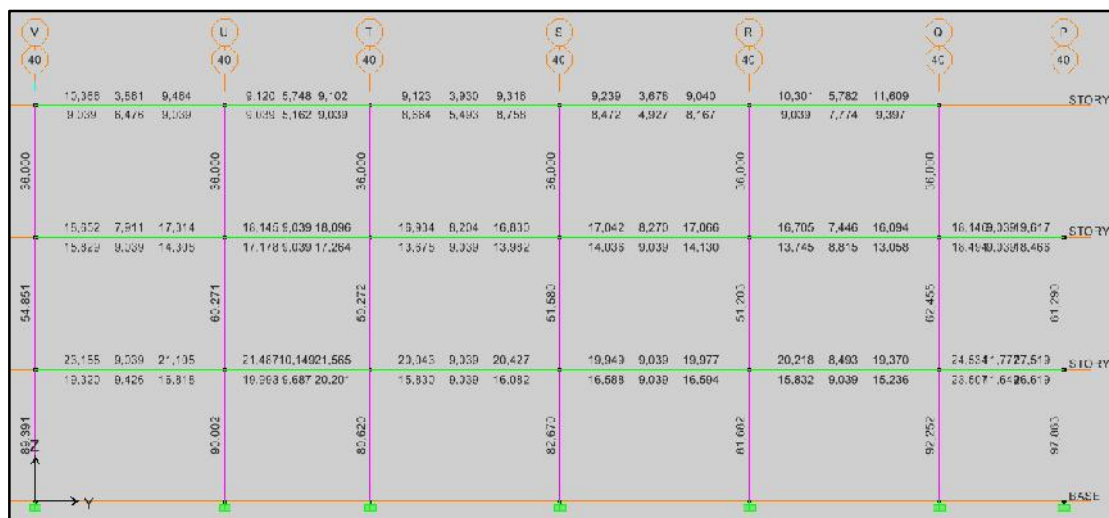


Fig.6.48.Acero en vigas pórtico 40, Consulta Externa I

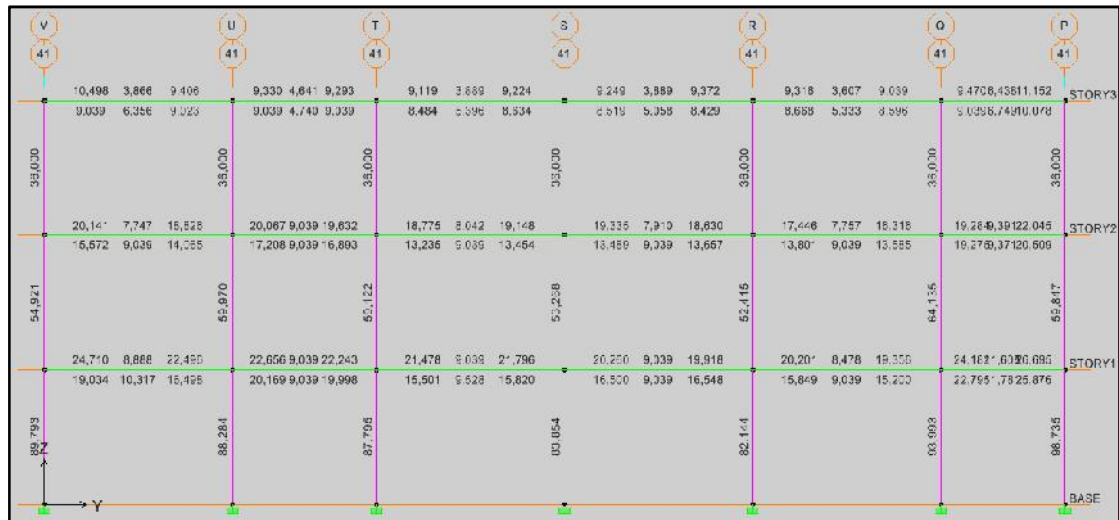


Fig.6.49. Acero en vigas pórtico 41, Consulta Externa I

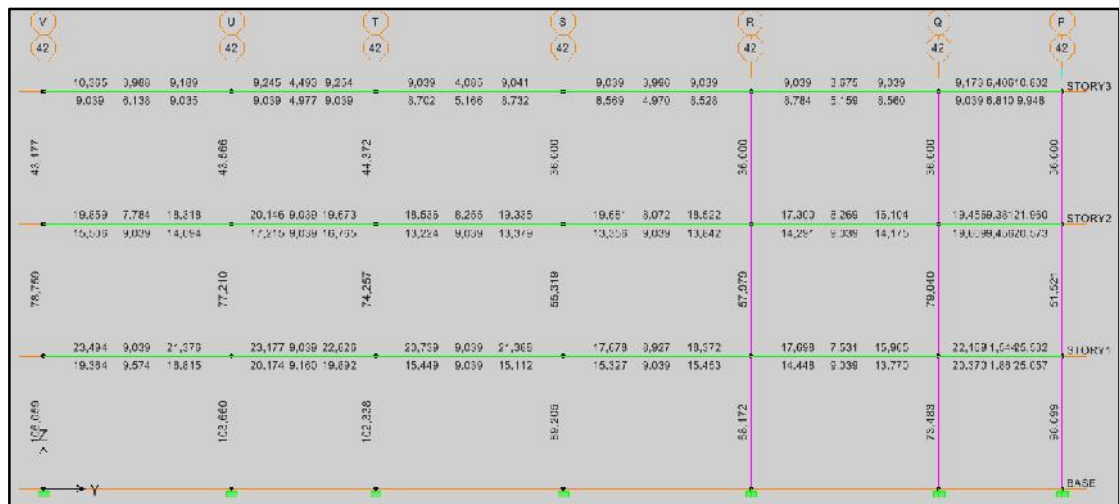


Fig.6.50. Acero en vigas pórtico 42, Consulta Externa I

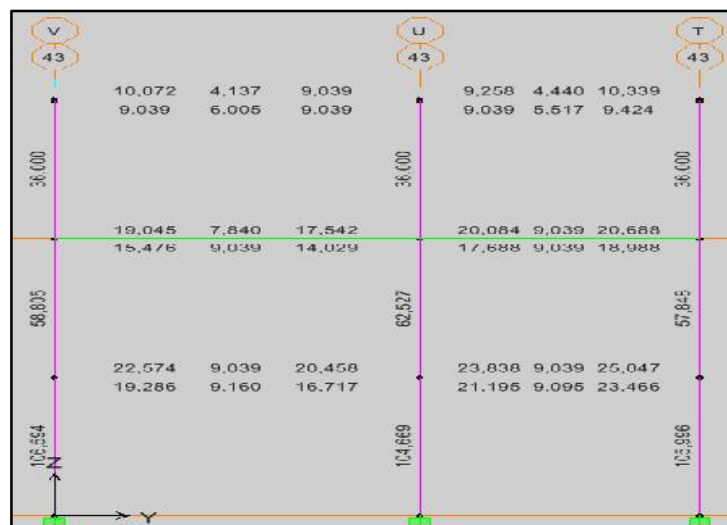


Fig.6.51. Acero en vigas pórtico 43, Consulta Externa I

CONSULTA EXTERNA DOS:

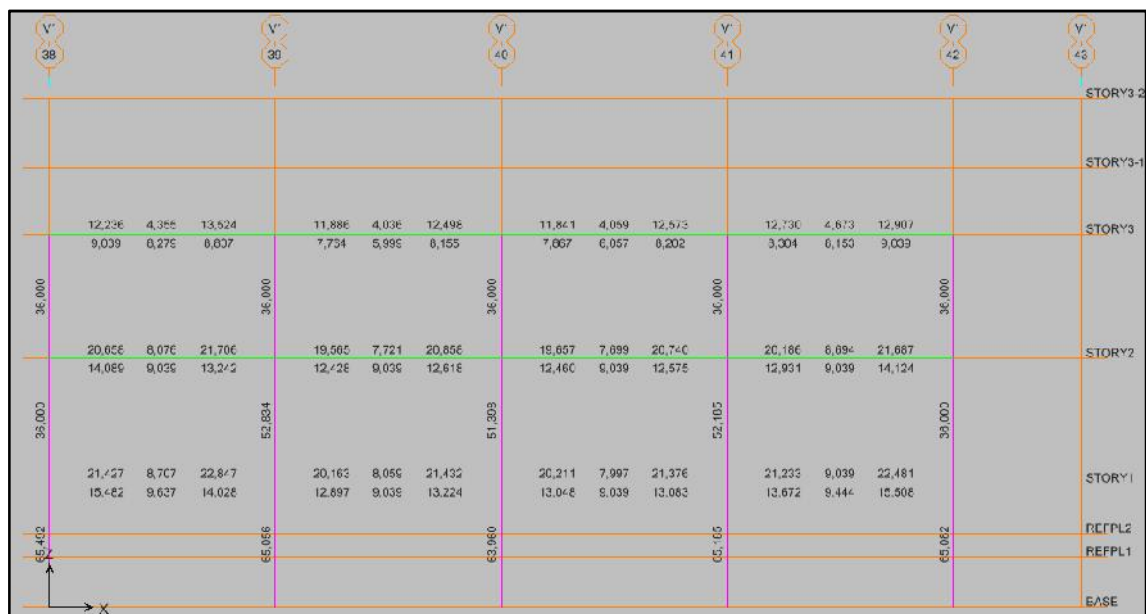


Fig.6.52 Acero en vigas pórtico V, Consulta Externa II

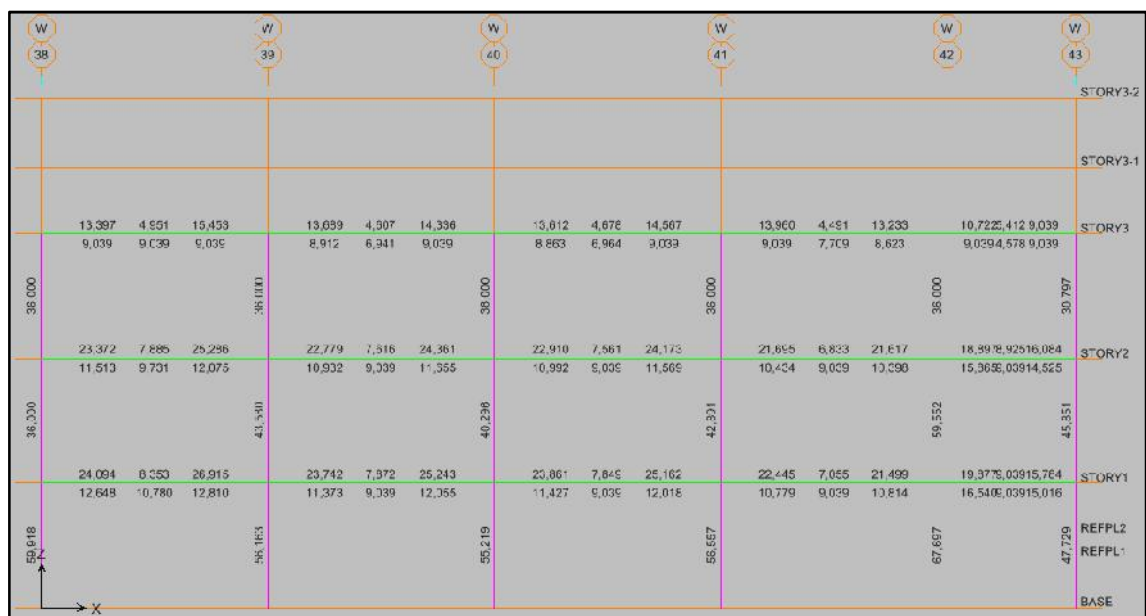


Fig.6.53. Acero en vigas pórtico W, Consulta Externa II

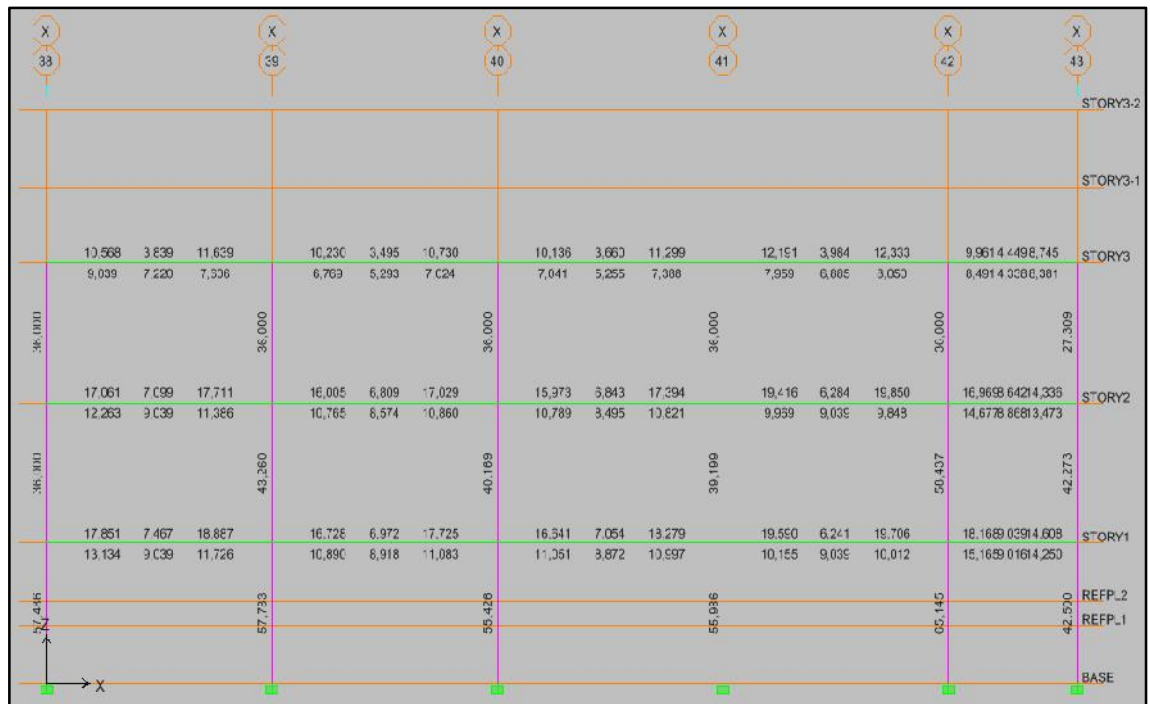


Fig.6.54. Acero en vigas pórtico X, Consulta Externa II

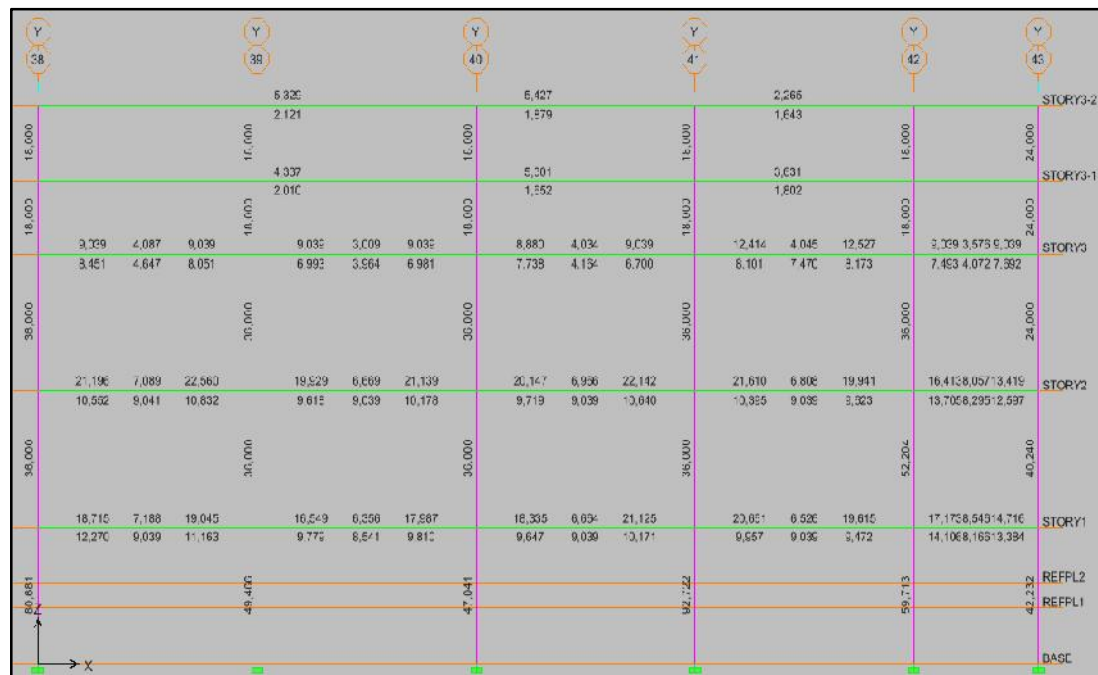


Fig.6.55. Acero en vigas pórtico Y, Consulta Externa II

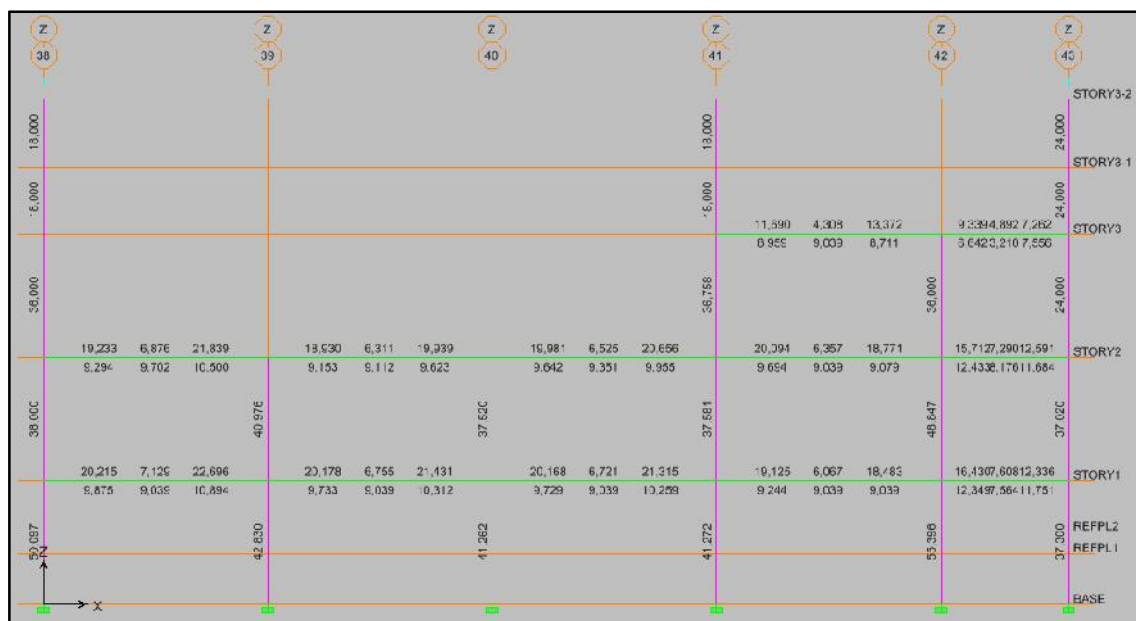


Fig.6.56. Acero en vigas pórtico Z, Consulta Externa II

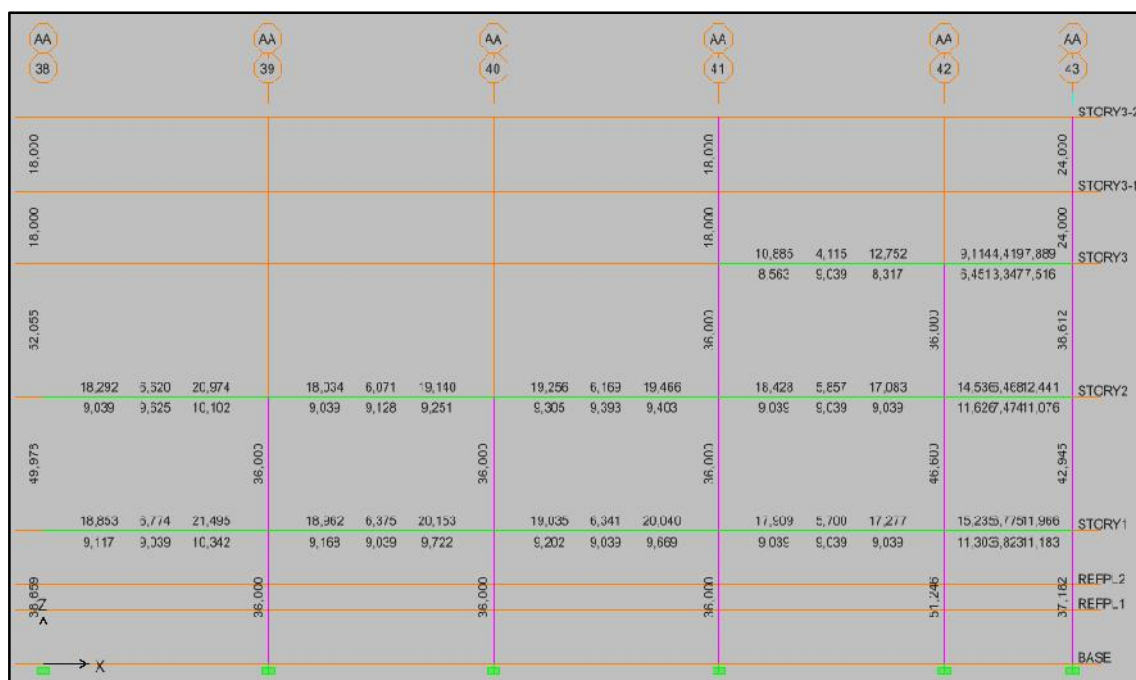


Fig.6.57. Acero en vigas pórtico AA, Consulta Externa II

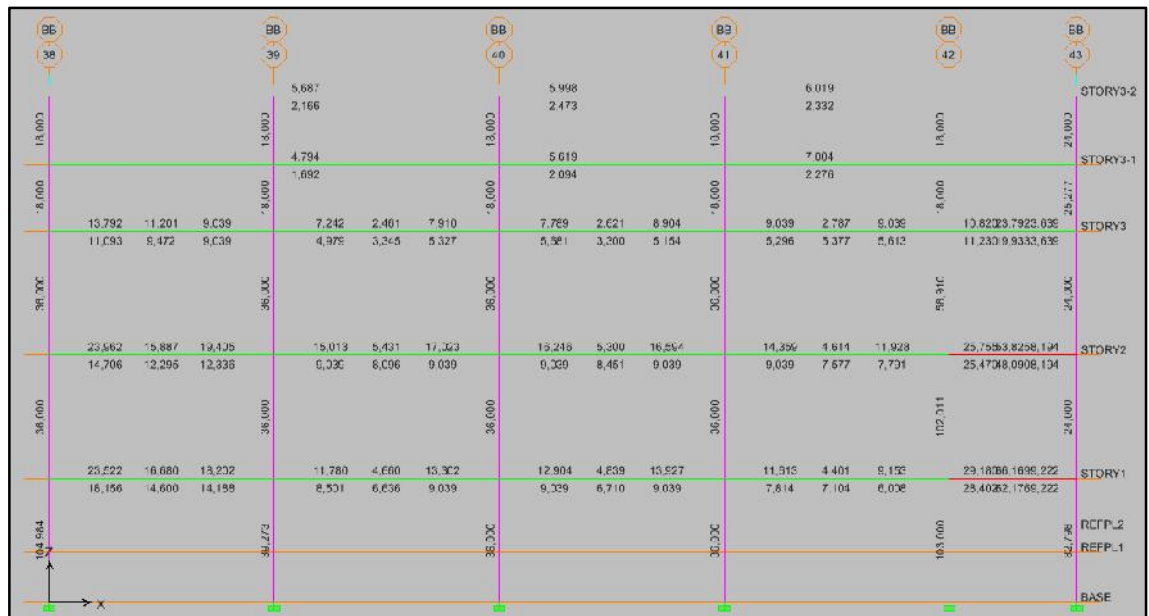


Fig.6.58.Acero en vigas pórtico BB, Consulta Externa II

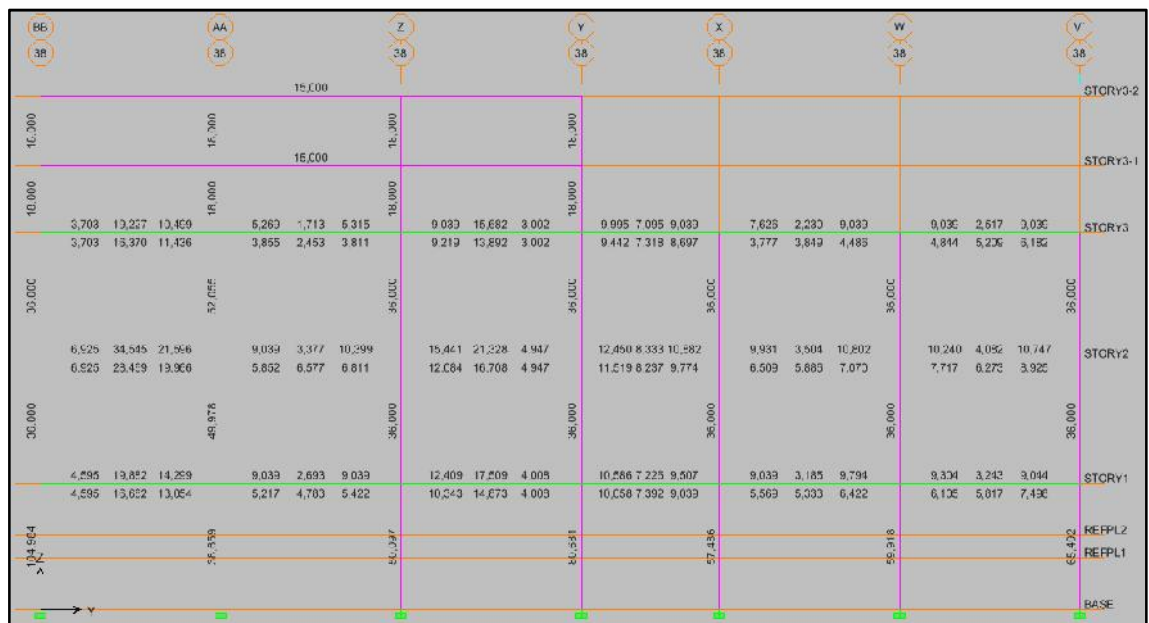


Fig.6.59.Acero en vigas pórtico 38, Consulta Externa II

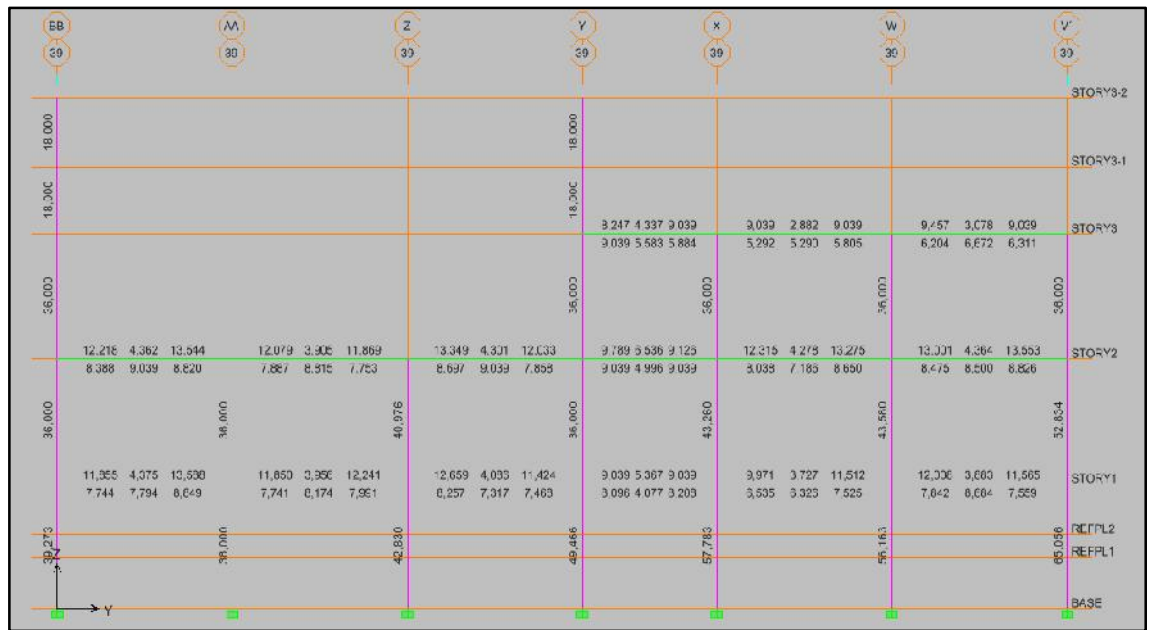


Fig.6.60.Acero en vigas pórtico 39, Consulta Externa II

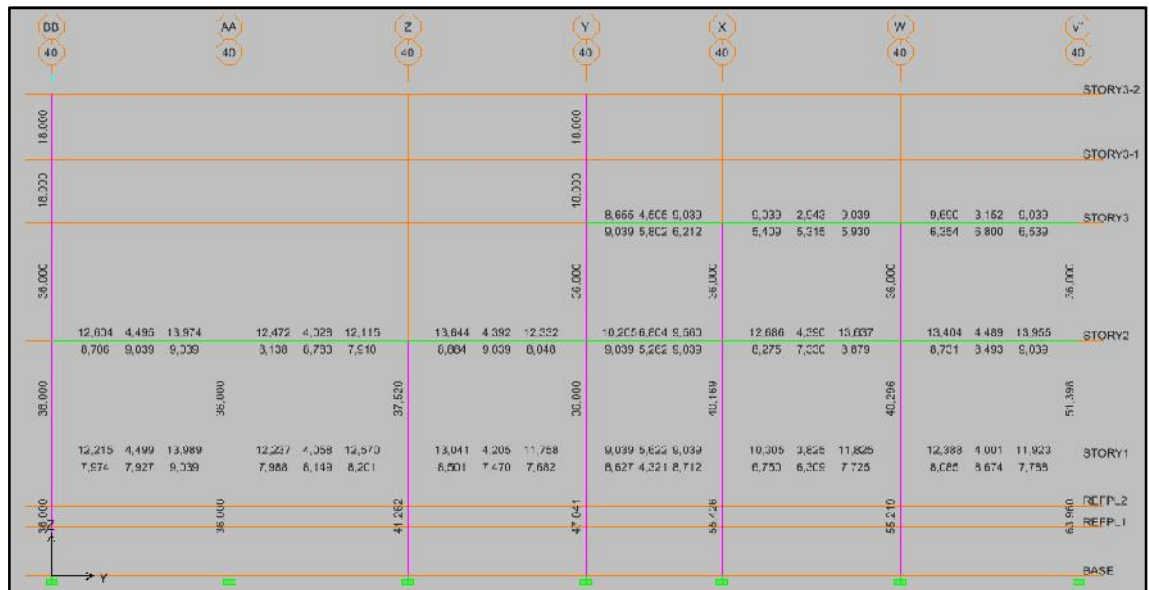
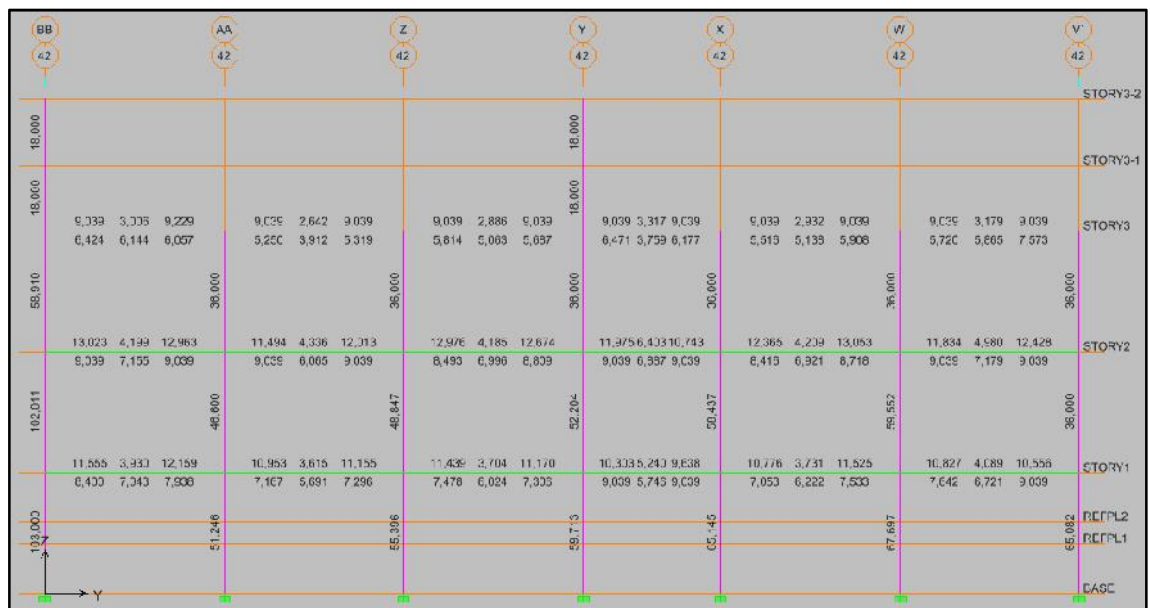
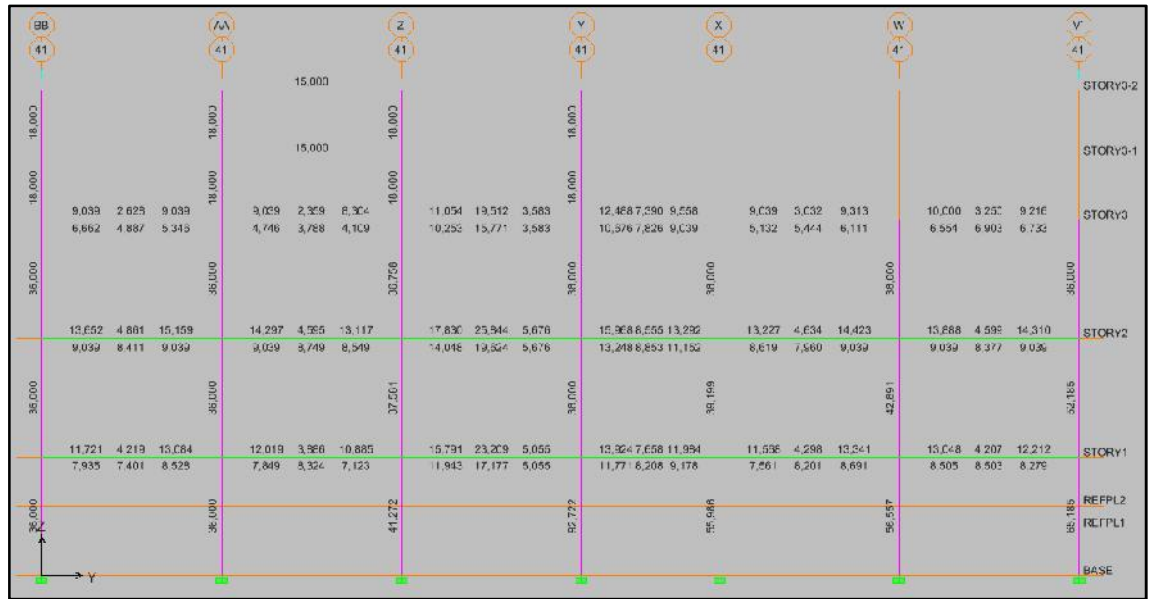


Fig.6.61.Acero en vigas pórtico 40, Consulta Externa II



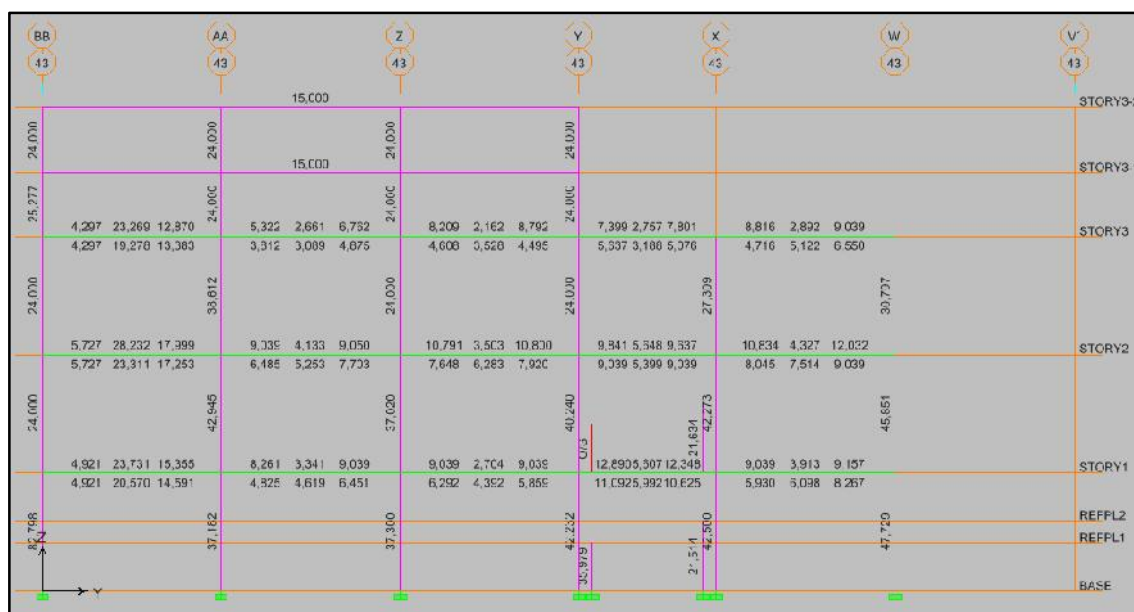


Fig.6.64. Acero en vigas pórtico 43, Consulta Externa II

6.2 MODELO DE LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL SEGÚN EL CEC-2002

Las figuras de los modelos se presentan desde la Fig.6.1 a la Fig.6.6; se dará más énfasis a los resultados presentados en tablas categorizadas por edificios a continuación.

MODOS DE VIBRACIÓN DE LOS MODELOS

Las siguientes tablas representan la participación modal que tiene los edificios en estudio:

PARTICIPACIÓN MODAL (HALL CENTRAL), ANÁLISIS ESTÁTICO						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	1,1115	68,3903	0,8496	1,2356	93,1891	4,0085
2	0,9131	2,1244	65,6484	90,2013	2,7885	4,3953
3	0,7410	3,0159	6,9109	7,8674	3,3965	64,0250
4	0,3064	13,0072	0,1243	0,0022	0,1868	0,8709
5	0,2459	0,0811	14,6707	0,2453	0,0061	0,0162
6	0,2031	1,0585	0,1691	0,0673	0,0210	13,3945
7	0,1677	2,0754	0,1326	0,0137	0,1193	1,4852
8	0,1495	0,2066	0,7177	0,0608	0,0182	0,0285

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

9	0,1398	0,1107	1,0132	0,0344	0,0045	0,1221
10	0,1328	2,8749	0,3052	0,0140	0,1315	0,0181
11	0,1282	0,0422	2,1990	0,1022	0,0042	0,1458
12	0,1150	0,6475	0,0001	0,0026	0,0230	0,2611
PARTICIPACIÓN MODAL (HALL CENTRAL), ANÁLISIS DINÁMICO						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	1,1676	72,6151	0,2840	0,3955	98,3443	0,6145
2	0,9420	0,4120	70,4913	96,5664	0,5471	1,5297
3	0,8249	0,5632	2,2897	2,3011	0,4910	69,9626
4	0,3204	13,6437	0,1225	0,0008	0,1916	0,2057
5	0,2573	0,0680	13,9497	0,2429	0,0033	0,5018
6	0,2167	0,3513	0,9302	0,1024	0,0074	14,0756
7	0,1697	2,6982	0,2019	0,0146	0,1533	0,9490
8	0,1537	0,1802	1,0931	0,0814	0,0107	0,0016
9	0,1452	0,0483	0,7960	0,0279	0,0018	0,3839
10	0,1366	2,9149	0,4560	0,0242	0,1320	0,0208
11	0,1299	0,0205	1,9328	0,0817	0,0023	0,1483
12	0,1166	0,3506	0,0156	0,0001	0,0125	0,5670

Tabla 6.28 Participación modal, Análisis estático, Hall Central CEC2002

Tabla 6.29 Participación modal, Análisis dinámico, Hall Central CEC2002

PARTICIPACIÓN MODAL (GOBERNANTES), ANÁLISIS ESTÁTICO						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	1,140285	0,012300	73,407700	91,152100	0,015100	7,590500
2	1,097216	81,771500	0,031900	0,038900	99,551000	0,038500
3	1,058113	0,062500	7,181600	8,471000	0,074700	73,432300
4	0,334537	0,001800	10,667300	0,009200	0,000000	0,332300
5	0,316317	10,383000	0,011700	0,000000	0,007500	0,092600
6	0,304345	0,091200	0,462100	0,001500	0,000000	10,362200
7	0,165852	0,001700	3,614000	0,238400	0,000100	0,177600
8	0,156905	3,520200	0,008800	0,000500	0,290200	0,046200
9	0,149364	0,037600	0,240500	0,012700	0,003800	3,708700
10	0,101103	0,001600	1,756800	0,036100	0,000000	0,081000
11	0,096995	1,686900	0,004000	0,000100	0,018200	0,012900
12	0,090001	0,007000	0,117400	0,001700	0,000100	1,826300

Tabla 6.30 Participación modal, Análisis estático, Gobernantes CEC2002

PARTICIPACIÓN MODAL (GOBERNANTES), ANÁLISIS DINÁMICO						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	1,140285	0,012300	73,407700	91,152100	0,015100	7,590500
2	1,097216	81,771500	0,031900	0,038900	99,551000	0,038500
3	1,058113	0,062500	7,181600	8,471000	0,074700	73,432300
4	0,334537	0,001800	10,667300	0,009200	0,000000	0,332300
5	0,316317	10,383000	0,011700	0,000000	0,007500	0,092600
6	0,304345	0,091200	0,462100	0,001500	0,000000	10,362200
7	0,165852	0,001700	3,614000	0,238400	0,000100	0,177600
8	0,156905	3,520200	0,008800	0,000500	0,290200	0,046200
9	0,149364	0,037600	0,240500	0,012700	0,003800	3,708700
10	0,101103	0,001600	1,756800	0,036100	0,000000	0,081000
11	0,096995	1,686900	0,004000	0,000100	0,018200	0,012900
12	0,090001	0,007000	0,117400	0,001700	0,000100	1,826300

Tabla 6.31 Participación modal, Análisis dinámico, Gobernantes CEC2002

PARTICIPACIÓN MODAL (CONSULTA EXTERNA I), ANÁLISIS ESTÁTICO						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	0,461437	83,3954	0,0238	0,0277	99,6619	0,2205
2	0,433211	0,0257	84,4312	99,6641	0,0309	0,1671
3	0,393908	0,1284	0,1094	0,096	0,0878	82,8269
4	0,146832	12,3298	0,0002	0	0,0009	0,8191
5	0,140169	0	12,1737	0,0157	0	0,0468
6	0,130283	0,5712	0,0111	0,002	0,005	12,3492
7	0,08208	3,3586	0,0065	0,0011	0,193	0,3307
8	0,080507	0,017	3,2181	0,1934	0,0014	0,0085
9	0,074567	0,174	0,026	0	0,0191	3,231
10	0,011468	0	0	0	0	0
11	0,010503	0	0	0	0	0
12	0,008406	0	0	0	0	0

Tabla 6.32 Participación modal, Análisis estático, Consulta Externa I CEC2002

PARTICIPACIÓN MODAL (CONSULTA EXTERNA I), ANÁLISIS DINÁMICO						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	0,461437	83,3954	0,0238	0,0277	99,6619	0,2205
2	0,433211	0,0257	84,4312	99,6641	0,0309	0,1671
3	0,393908	0,1284	0,1094	0,096	0,0878	82,8269
4	0,146832	12,3298	0,0002	0	0,0009	0,8191
5	0,140169	0	12,1737	0,0157	0	0,0468
6	0,130283	0,5712	0,0111	0,002	0,005	12,3492
7	0,08208	3,3586	0,0065	0,0011	0,193	0,3307
8	0,080507	0,017	3,2181	0,1934	0,0014	0,0085
9	0,074567	0,174	0,026	0	0,0191	3,231
10	0,011468	0	0	0	0	0
11	0,010503	0	0	0	0	0
12	0,008406	0	0	0	0	0

Tabla 6.33 Participación modal, Análisis dinámico, Consulta Externa I CEC2002

PARTICIPACIÓN MODAL (CONSULTA EXTERNA II), ANÁLISIS ESTÁTICO						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	0,710646	72,4879	0,9643	1,2331	87,9685	8,1557
2	0,538567	0,4366	69,0635	92,8147	0,4943	0,6307
3	0,467495	6,9161	1,5468	1,6965	10,8567	63,8588
4	0,372953	0,0009	0,2134	0,1423	0,0033	0,0902
5	0,365889	0,0084	5,5145	2,9965	0,0615	2,1889
6	0,287158	0,0607	3,1505	0,6905	0,1143	4,3886
7	0,240256	2,5666	1,9449	0,1369	0,0258	0,6528
8	0,231757	0,0961	0,8022	0,0337	0,0003	0,0012
9	0,227697	0,0288	0,0026	0,0001	0,0004	0,0056
10	0,225087	8,3229	0,2424	0,0085	0,0232	0,9322
11	0,196074	1,2047	0,0107	0,0045	0,0647	2,6505
12	0,190057	0,0728	0,5365	0	0,0051	0,1767

Tabla 6.34 Participación modal, Análisis estático, Consulta Externa II CEC2002

PARTICIPACIÓN MODAL (CONSULTA EXTERNA II), ANÁLISIS DINÁMICO						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	0,719827	72,9939	0,9009	1,1559	88,5537	7,4752
2	0,542516	0,8767	73,4178	96,9783	1,1014	0,0018
3	0,484304	5,7746	0,0002	0,0012	9,705	67,8593
4	0,315259	0,0036	3,1152	0,9619	0,0123	0,8429
5	0,310883	0,0008	0,1258	0,0261	0,0002	0,0324
6	0,264024	0,5711	1,9185	0,2695	0,0653	3,3628
7	0,252598	0,5747	4,0257	0,3603	0,0384	0,9034
8	0,225919	10,54	0,0012	0	0,0201	0,8015
9	0,200745	0,0027	0,6224	0,0024	0	0,0098
10	0,192331	1,2572	0,0055	0,0061	0,062	2,7532
11	0,179693	0,0008	0,0002	0	0,0005	0,0015
12	0,166117	0,0025	0,1229	0,0004	0,0002	0,0165

Tabla 6.35 Participación modal, Análisis dinámico, Consulta Externa II CEC2002

Podemos notar entonces que las edificaciones se desplazan en los dos primeros períodos y en un tercero gira. Para ver las figuras que verifican lo mencionado se debe revisar las figuras de la 6.7 A 6.18.

DERIVA DE PISO DE LOS MODELOS

Se expone a continuación las derivas de piso con los diferentes casos y combinaciones de carga, para el CEC-2002, como requisito para tener la información necesaria y poder realizar el análisis comparativo.

DERIVAS DE PISO (HALL CENTRAL), ANÁLISIS ESTÁTICO								
PISO	DIRECCIÓN	COMB. CARGA	NIVEL (m)	DERIVA X	DERIVA Y	DERIVA X (%)	DERIVA Y (%)	ESTADO
Tapagrada	X	COMB. 4	30,72	0,004122		0,41		CUMPLE
Tapagrada	Y	COMB. 6	30,72		0,003503		0,35	CUMPLE
Séptimo	X	COMB. 4	27,72	0,004565		0,46		CUMPLE
Séptimo	Y	COMB. 6	27,72		0,00363		0,36	CUMPLE
Sexto	X	COMB. 4	23,76	0,005252		0,53		CUMPLE
Sexto	Y	COMB. 6	23,76		0,003878		0,39	CUMPLE
Quinto	X	COMB. 4	19,80	0,005905		0,59		CUMPLE
Quinto	Y	COMB. 6	19,80		0,004069		0,41	CUMPLE
Cuarto	X	COMB. 4	15,84	0,006246		0,62		CUMPLE
Cuarto	Y	COMB. 6	15,84		0,004097		0,41	CUMPLE
Tercero	X	COMB. 4	11,88	0,005965		0,60		CUMPLE
Tercero	Y	COMB. 6	11,88		0,003772		0,38	CUMPLE
Segundo	X	COMB. 4	7,92	0,004728		0,47		CUMPLE
Segundo	Y	COMB. 6	7,92		0,002956		0,30	CUMPLE
Primero	X	COMB. 4	3,96	0,002171		0,22		CUMPLE
Primero	Y	COMB. 6	3,96		0,001772		0,18	CUMPLE

Tabla 6.36 Derivas de piso, Análisis estático, Hall Central CEC2002

DERIVAS DE PISO (HALL CENTRAL), ANÁLISIS DINÁMICO								
PISO	DIRECCIÓN	COMB. CARGA	NIVEL (m)	DERIVA X	DERIVA Y	DERIVA X (%)	DERIVA Y (%)	ESTADO
Tapagrada	X	COMB. 3	30,72	0,001901		0,19		CUMPLE
Tapagrada	Y	COMB. 3	30,72		0,001819		0,18	CUMPLE
Séptimo	X	COMB. 3	27,72	0,001972		0,20		CUMPLE
Séptimo	Y	COMB. 3	27,72		0,001849		0,18	CUMPLE
Sexto	X	COMB. 3	23,76	0,00214		0,21		CUMPLE
Sexto	Y	COMB. 3	23,76		0,00192		0,19	CUMPLE
Quinto	X	COMB. 3	19,80	0,002291		0,23		CUMPLE
Quinto	Y	COMB. 3	19,80		0,001962		0,20	CUMPLE
Cuarto	X	COMB. 3	15,84	0,002352		0,24		CUMPLE
Cuarto	Y	COMB. 3	15,84		0,001931		0,19	CUMPLE
Tercero	X	COMB. 3	11,88	0,002218		0,22		CUMPLE
Tercero	Y	COMB. 3	11,88		0,001741		0,17	CUMPLE
Segundo	X	COMB. 3	7,92	0,001762		0,18		CUMPLE
Segundo	Y	COMB. 3	7,92		0,001392		0,14	CUMPLE
Primero	X	COMB. 3	3,96	0,000816		0,08		CUMPLE
Primero	Y	COMB. 3	3,96		0,000781		0,08	CUMPLE

Tabla 6.37 Derivas de piso, Análisis dinámico, Hall Central CEC2002

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

DERIVAS DE PISO (GOBERNANTES), ANÁLISIS ESTÁTICO								
PISO	DIREC	COMB CARGA	NIVEL (m)	DERIVA X	DERIVA Y	DER (%) X	DER (%) Y	ESTADO
Tapag	X	COMB. 4	23,76	0,002184		0,22		CUMPLE
Tapag	Y	COMB. 6	23,76		0,002895		0,29	CUMPLE
Quinto	X	COMB. 4	19,80	0,003632		0,36		CUMPLE
Quinto	Y	COMB. 6	19,80		0,004265		0,43	CUMPLE
Cuarto	X	COMB. 4	15,84	0,005336		0,53		CUMPLE
Cuarto	Y	COMB. 6	15,84		0,006054		0,61	CUMPLE
Tercero	X	COMB. 4	11,88	0,006473		0,65		CUMPLE
Tercero	Y	COMB. 6	11,88		0,007173		0,72	CUMPLE
Segundo	X	COMB. 4	7,92	0,006253		0,63		CUMPLE
Segundo	Y	COMB. 6	7,92		0,006729		0,67	CUMPLE
Primero	X	COMB. 4	3,96	0,002510		0,25		CUMPLE
Primero	Y	COMB. 6	3,96		0,002601		0,26	CUMPLE

Tabla 6.38 Derivas de piso, Análisis estático, Gobernantes CEC2002

DERIVAS DE PISO (GOBERNANTES), ANÁLISIS DINÁMICO								
PISO	DIREC	COMB CARGA	NIVEL (m)	DERIVA X	DERIVA Y	DER (%) X	DER (%) Y	ESTADO
Tapag	X	COMB. 3	23,76	0,001574		0,16		CUMPLE
Tapag	Y	COMB. 3	23,76		0,00211		0,21	CUMPLE
Quinto	X	COMB. 3	19,80	0,002098		0,21		CUMPLE
Quinto	Y	COMB. 3	19,80		0,002543		0,25	CUMPLE
Cuarto	X	COMB. 3	15,84	0,002743		0,27		CUMPLE
Cuarto	Y	COMB. 3	15,84		0,003228		0,32	CUMPLE
Tercero	X	COMB. 3	11,88	0,003155		0,32		CUMPLE
Tercero	Y	COMB. 3	11,88		0,003605		0,36	CUMPLE
Segundo	X	COMB. 3	7,92	0,003004		0,30		CUMPLE
Segundo	Y	COMB. 3	7,92		0,003329		0,33	CUMPLE
Primero	X	COMB. 3	3,96	0,001593		0,16		CUMPLE
Primero	Y	COMB. 3	3,96		0,001679		0,17	CUMPLE

Tabla 6.39 Derivas de piso, Análisis dinámico, Gobernantes CEC2002

DERIVAS DE PISO (CONSULTA EXTERNA I), ANÁLISIS ESTÁTICO								
PISO	DIREC	COMB CARGA	NIVEL (m)	DERIVA X	DERIVA Y	DER (%) X	DER (%) Y	ESTADO
Tercero	X	COMB. 7	11,88	0,002489		0,25		CUMPLE
Tercero	Y	COMB. 6	11,88		0,00202		0,20	CUMPLE
Segundo	X	COMB. 7	7,92	0,003459		0,35		CUMPLE
Segundo	Y	COMB. 6	7,92		0,002967		0,30	CUMPLE
Primero	X	COMB. 7	3,96	0,002545		0,25		CUMPLE
Primero	Y	COMB. 6	3,96		0,002301		0,23	CUMPLE

DERIVAS DE PISO (CONSULTA EXTERNA I), ANÁLISIS DINÁMICO								
PISO	DIREC	COMB CARGA	NIVEL (m)	DERIVA X	DERIVA Y	DER X (%)	DER Y (%)	ESTADO
Tercero	X	COMB. 7	11,88	0,001413		0,14		CUMPLE
Tercero	Y	COMB. 6	11,88		0,001165		0,12	CUMPLE
Segundo	X	COMB. 7	7,92	0,001994		0,20		CUMPLE
Segundo	Y	COMB. 6	7,92		0,00169		0,17	CUMPLE
Primero	X	COMB. 7	3,96	0,001459		0,15		CUMPLE
Primero	Y	COMB. 6	3,96		0,001327		0,13	CUMPLE

Tabla 6.40 Derivas de piso, Análisis dinámico y estático, Consulta Externa I CEC2002

DERIVAS DE PISO (CONSULTA EXTERNA II), ANÁLISIS ESTÁTICO								
PISO	DIREC	COMB CARGA	NIVEL (m)	DERIVA X	DERIVA Y	DER X (%)	DER Y (%)	ESTADO
Celos.	X	COMB. 3	14,00	0,001922		0,19		CUMPLE
Celos.	Y	COMB. 6	14,00		0,001359		0,14	CUMPLE
Tercero	X	COMB. 3	11,88	0,003673		0,37		CUMPLE
Tercero	Y	COMB. 6	11,88		0,001961		0,20	CUMPLE
Segundo	X	COMB. 3	7,92	0,004884		0,49		CUMPLE
Segundo	Y	COMB. 6	7,92		0,002197		0,22	CUMPLE
Primero	X	COMB. 3	3,96	0,003561		0,36		CUMPLE
Primero	Y	COMB. 6	3,96		0,001715		0,17	CUMPLE

Tabla 6.41 Derivas de piso, Análisis estático, Consulta Externa II CEC2002

DERIVAS DE PISO (CONSULTA EXTERNA II), ANÁLISIS DINÁMICO								
PISO	DIREC	COMB CARGA	NIVEL (m)	DERIVA X	DERIVA Y	DER X (%)	DER Y (%)	ESTADO
Celos.	X	COMB. 3	14,00	0,002386		0,24		CUMPLE
Celos.	Y	COMB. 3	14,00		0,005907		0,59	CUMPLE
Tercero	X	COMB. 3	11,88	0,003255		0,33		CUMPLE
Tercero	Y	COMB. 3	11,88		0,002211		0,22	CUMPLE
Segundo	X	COMB. 3	7,92	0,003904		0,39		CUMPLE
Segundo	Y	COMB. 3	7,92		0,002365		0,24	CUMPLE
Primero	X	COMB. 3	3,96	0,002765		0,28		CUMPLE
Primero	Y	COMB. 3	3,96		0,001833		0,18	CUMPLE

Tabla 6.42 Derivas de piso, Análisis dinámico, Consulta Externa II CEC2002

CONSIDERACIÓN DE LOS EFECTOS P - U1

Las ecuaciones correspondientes a este cálculo se encuentran en la primera sección de este capítulo, se presentan a continuación las tablas correspondientes.

DISTRIBUCIÓN DE CORTANTE BASAL Y CÁLCULO DE ÍNDICE DE ESTABILIDAD Q_i, HALL CENTRAL										
PISO	ÁREA m²	q t/m²	W_i Ton	h_i m	W_i*h_i Ton-m	F_i Ton	P_i Ton	U₁	Q_i	ESTADO
7	710,19	0,819	581,65	27,72	16123,22	47,78	662,49	0,0046	0,0023	CUMPLE
6	739,85	1,16	858,23	23,76	20391,45	255,35	1520,72	0,0053	0,0013	CUMPLE
5	739,85	1,16	858,23	19,8	16992,87	212,79	2378,95	0,0059	0,0033	CUMPLE
4	739,85	1,16	858,23	15,84	13594,30	170,23	3237,17	0,0062	0,0075	CUMPLE
3	739,85	1,16	858,23	11,88	10195,72	127,67	4095,40	0,0060	0,0161	CUMPLE
2	739,85	1,16	858,23	7,92	6797,15	85,12	4953,62	0,0047	0,0347	CUMPLE
1	739,85	1,16	858,23	3,96	3398,57	42,56	5811,85	0,0022	0,0749	CUMPLE
Suma	5149,29	-	5731,00	-	71370,07	941,50	-	-	-	

Tabla 6.43 Distribución de cortante basal, Cálculo de índice estabilidad Q_i , Hall Central

DISTRIBUCIÓN DE CORTANTE BASAL Y CÁLCULO DE ÍNDICE DE ESTABILIDAD Q_i, GOBERNANTES										
PISO	ÁREA m²	q t/m²	W_i Ton	h_i m	W_i*h_i Ton-m	F_i Ton	P_i Ton	U₁	Q_i	ESTADO
5	966,30	0,6	579,78	19,80	11479,61	36,90	637,08	0,0043	0,004	CUMPLE
4	931,26	1,06	987,13	15,84	15636,22	256,16	1624,22	0,0061	0,002	CUMPLE
3	907,50	1,06	961,95	11,88	11427,98	187,22	2586,17	0,0072	0,008	CUMPLE
2	896,22	0,92	824,52	7,92	6530,23	106,98	3410,69	0,0067	0,027	CUMPLE
1	896,22	0,43	385,38	3,96	1526,09	25,00	3796,07	0,0026	0,10	CUMPLE
Suma	3631,20	-	3738,76	-	35120,51	612,27	-	-	-	

Tabla 6.44 Distribución de cortante basal, Cálculo de índice estabilidad Q_i , Gobernantes

DISTRIBUCIÓN DE CORTANTE BASAL Y CÁLCULO DE ÍNDICE DE ESTABILIDAD Q_i, GOBERNANTES										
PISO	ÁREA m²	q t/m²	W_i Ton	h_i m	W_i*h_i Ton-m	F_i Ton	P_i Ton	U₁	Q_i	ESTADO
3	830,26	1,09	904,98	11,88	10751,20	29,51	904,98	0,0025	0,006	CUMPLE
2	849,60	1,22	1036,51	7,92	8209,18	513,26	1941,50	0,0035	0,002	CUMPLE
1	914,03	1,24	1133,40	3,96	4488,25	280,62	3074,89	0,0025	0,007	CUMPLE
Suma	2593,89	-	3074,89	-	12697,43	823,39	-	-	-	

Tabla 6.45 Distribución de cortante basal, Cálculo de índice estabilidad Q_i , Consulta Externa I

DISTRIBUCIÓN DE CORTANTE BASAL Y CÁLCULO DE ÍNDICE DE ESTABILIDAD Q_i , CONSULTA EXTERNA II

PISO	ÁREA m²	q t/m²	W_i Ton	H_i M	W_i*h_i Ton-m	F_i Ton	P_i Ton	U₁	Q_i	ESTADO
4	388,80	0,13	50,54	14,00	707,62	31,83	50,54	0,0019	0,0002	CUMPLE
3	662,57	1,09	722,20	11,88	8579,75	271,87	772,75	0,0037	0,0009	CUMPLE
2	1026,95	1,22	1252,88	7,92	9922,80	314,43	2025,62	0,0049	0,0040	CUMPLE
1	1048,30	1,24	1299,89	3,96	5147,57	163,11	3325,52	0,0036	0,0183	CUMPLE
Suma	3126,62	-	3325,52	-	23650,13	781,24	-	-	-	

Tabla 6.46 Distribución de cortante basal, Cálculo de índice estabilidad Q_i , Consulta Externa II

6.2.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL SEGÚN EL ACI318-08

El diseño de la estructura se lo hará con el ACI318-08, en el mismo que constan las diferentes combinaciones de cargas para el diseño, las mismas que se exponen a continuación.

$$U_1 = 1.4 \cdot D$$

$$U_2 = 1.2 \cdot D + 1.6 \cdot L$$

$$U_3 = 1.2 \cdot D + 1.0 \cdot L + 1.5 \cdot S_x$$

$$U_4 = 1.2 \cdot D + 1.0 \cdot L - 1.5 \cdot S_x$$

$$U_5 = 1.2 \cdot D + 1.0 \cdot L + 1.5 \cdot S_y$$

$$U_6 = 1.2 \cdot D + 1.0 \cdot L - 1.5 \cdot S_y$$

$$U_7 = 1.2 \cdot D + 1.5 \cdot S_x$$

$$U_8 = 1.2 \cdot D - 1.5 \cdot S_x$$

$$U_9 = 1.2 \cdot D + 1.5 \cdot S_y$$

$$U_{10} = 1.2 \cdot D - 1.5 \cdot S_y$$

$$U_{11} = 0.7 \cdot D + 1.5 \cdot S_x$$

$$U_{12} = 0.7 \cdot D - 1.5 \cdot S_x$$

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

$$U13 = 0.7 \cdot D + 1.5 \cdot S_y$$

$$U14 = 0.7 \cdot D - 1.5 \cdot S_y$$

Como los resultados son del modelo con el CEC-2002 en el diseño se realizará un resumen adecuado como sigue:

NÚMERO DE VARILLAS POR TIPO DE COLUMNA:

HALL CENTRAL:

PISO	COLUMNA	NOMBRE	As(cm2)	TIPO	NUM VAR
TODOS	C1	COL100	98.56	I	16 28
	C25	COLDIAM100	78.56	II	16 25
	C9	COL70X80	58.92	III	12 25
	C12	COL100	98.56	IV	16 28
	C44	COLDIAM100	78.56	V	16 25

Tabla 6.47 N° de varillas por tipo de columna, ACI318-08, Hall Central

GOBERNANTES:

PISO	COLUMNA	NOMBRE	As(cm2)	TIPO	NUM VAR
TODOS	C1	COL100	192.96	I	24 32
	C12	COLDIAM100	103.6	II	8 32 + 8 25
	C19	COLDIAM100	103.60	III	8 32 + 8 25
	C8	COL100	160.80	IV	20 32
	C44	COLUMNETA	9,10	V	6 14

Tabla 6.48 N° de varillas por tipo de columna, ACI318-08, Gobernantes

CONSULTA EXTERNA UNO:

PISO	COLUMNA	NOMBRE	As (cm2)	TIPO	NUM VAR
PISO 2, 1	C46	COL60X60	37.68	I	12 20
PISO 3, 2	C50	COL60X60	37.68	II	12 20
PISO 1	C50	COL60X60	45.60	II	12 22
PISO 3, 2	C8	COL60X60	45.60	III	12 22
PISO 3, 2, 1	C13	COL40X60	31.41	IV	10 20
PISO 3, 2	C5	COL60X60	37.68	V	12 20
PISO 1	C5	COL60X60	73.92	V	12 28
PISO 3,	C45	CIRCX60	50.24	VI	16 20

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

2, 1					
PISO 1	C44	CIRCX60	68.74	VII	14 25

Tabla 6.49 N° de varillas por tipo de columna, ACI318-08, Consulta Externa I

CONSULTA EXTERNA DOS:

PISO	COLUMNA	NOMBRE	As (cm2)	TIPO	NUM VAR
PISO 3, 2	C44	COL60X60	45.60	V	12 22
PISO 1	C44	COL60X60	73.92	V	12 28
PISO 3, 2	C53	COL60X60	45.60	VIII	12 22
PISO 1	C53	COL60X60	66.42	VIII	6 25 + 6 28
PISO 2, 1	C60	COL60X60	66.42	IX	6 25 + 6 22
PISO 3´	C59	COL60X30	38.00	X	10 22
PISO 3, 2	C59	COL60X60	51.66	X	6 22 + 6 25
PISO 1	C59	COL60X60	66.42	X	6 25 + 6 28
PISO 3´	C1	COL60X30	38.00	XI	10 22
PISO 3, 2	C1	COL60X60	52.30	XI	6 22 + 6 25
PISO 1	C1	COL60X60	55.80	XI	6 20 + 6 28
PISO 3´	C65	COL40X60	38.00	XII	10 22
PISO 3, 2	C65	COL40X60	41.60	XII	10 28
PISO 3´	C57	COL60X30	38.00	XIII	10 22
PISO 3, 2	C57	COL60X60	49.10	XIII	10 25
TODOS	C77-3	COLUMNETA	9.20	XIV	6 14

Tabla 6.50 N° de varillas por tipo de columna, ACI318-08, Consulta Externa II

ACERO EN LAS VIGAS POR PÓRTICOS EN LOS EDIFICIOS

Para estos modelos se presentará el acero de refuerzo en las vigas de los pórticos más críticos en cada sentido.

HALL CENTRAL:

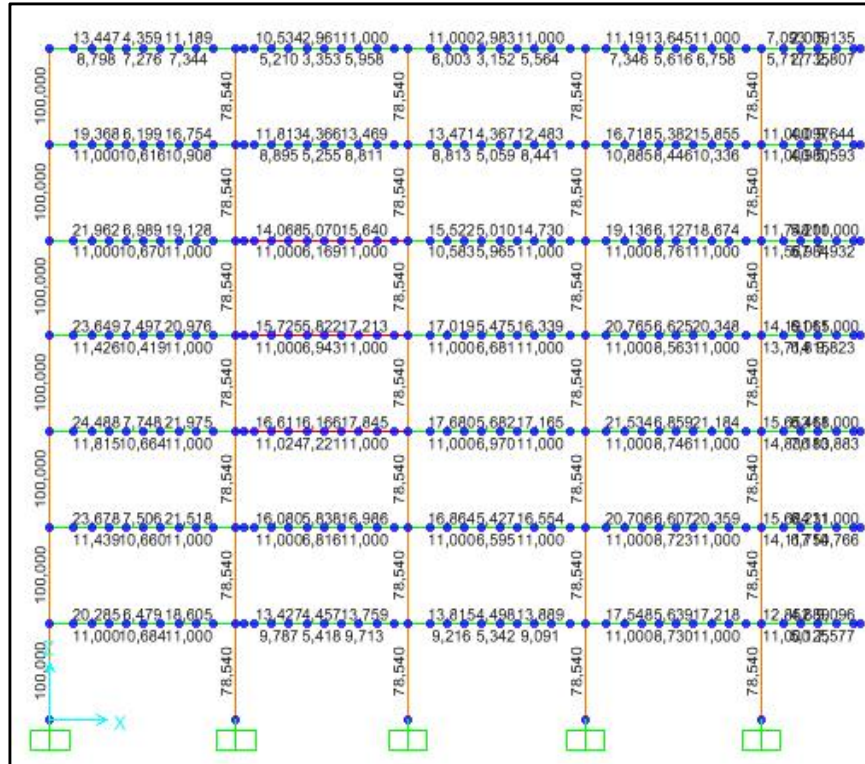


Fig.6.65.Acero en vigas pórtico M (Crítico en x), Hall Central

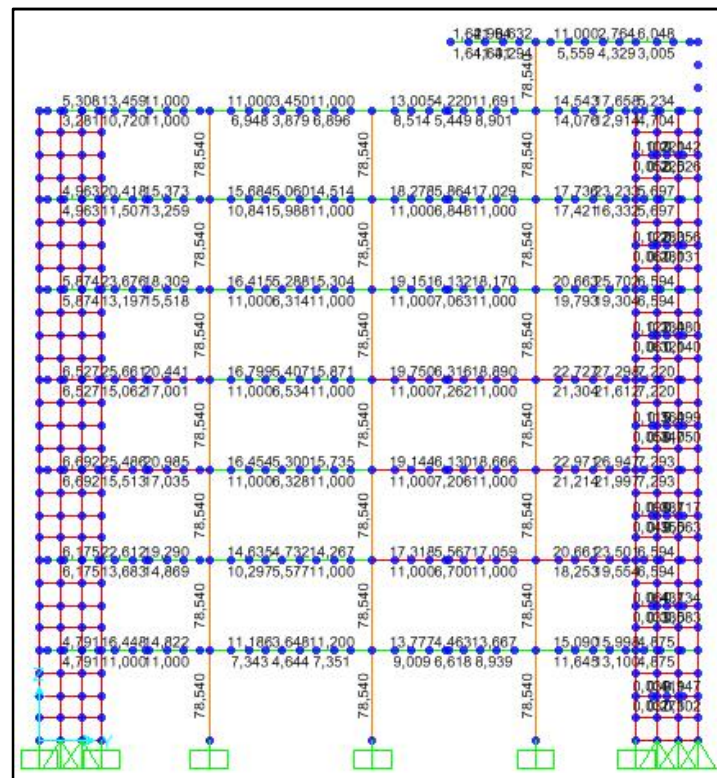


Fig.6.66.Acero en vigas pórtico o (Crítico en Y), Hall Central

GOBERNANTES:

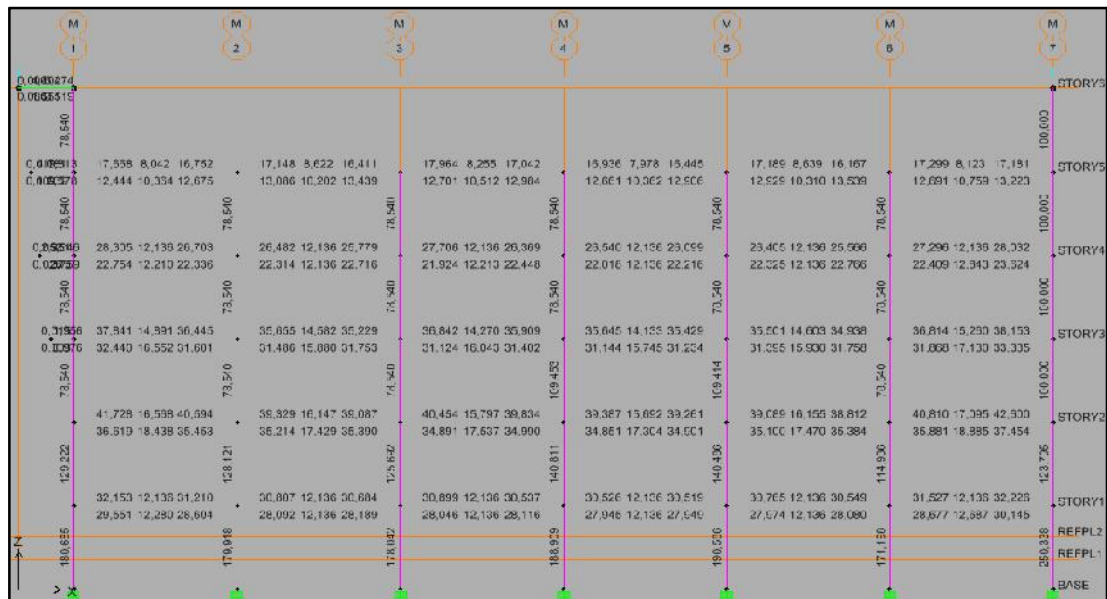


Fig.6.67. Acero en vigas pórtico M (Crítico en X), Gobernantes

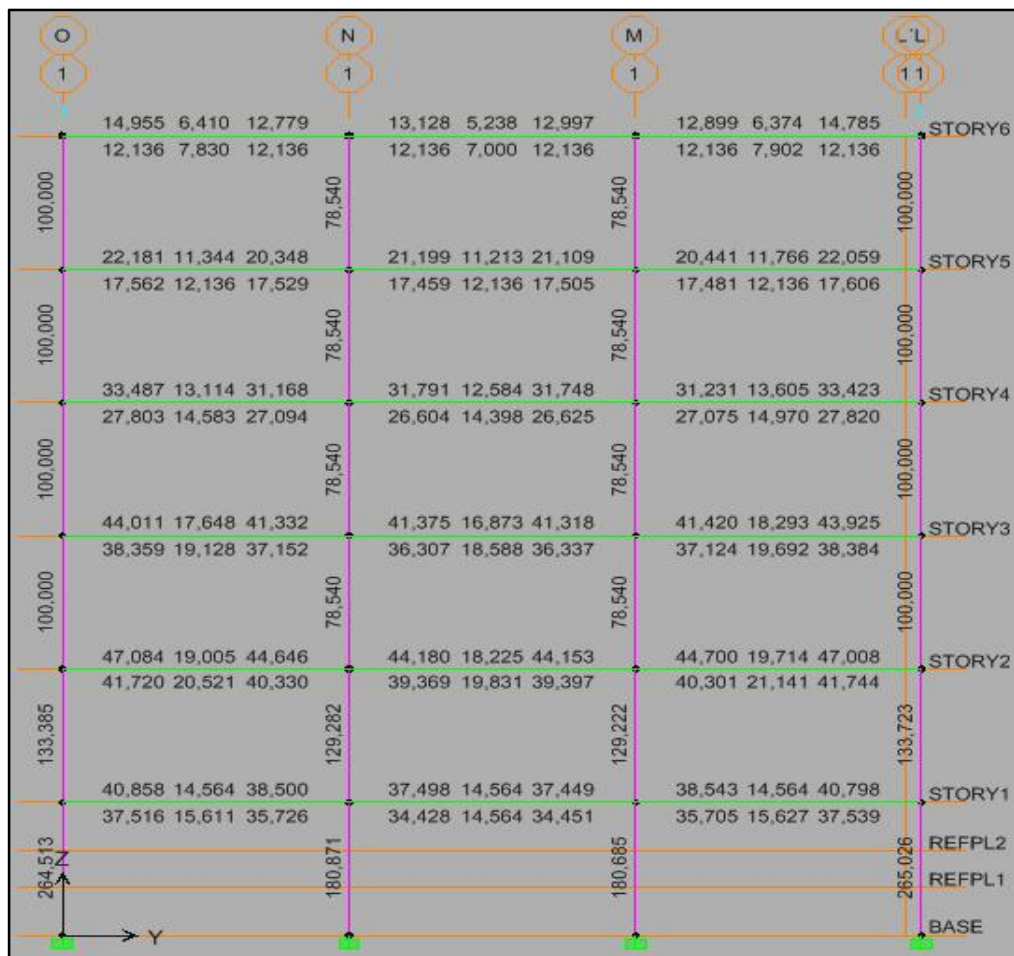


Fig.6.68. Acero en vigas pórtico 1 (Crítico en Y), Gobernantes

CONSULTA EXTERNA UNO:

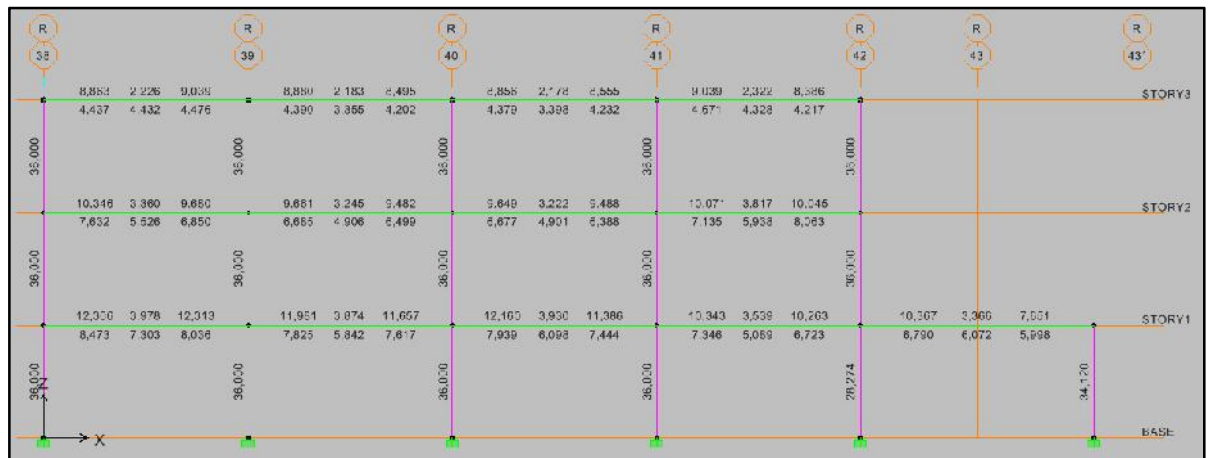


Fig.6.69.Acero en vigas pórtico R (Crítico en X), Consulta Externa I

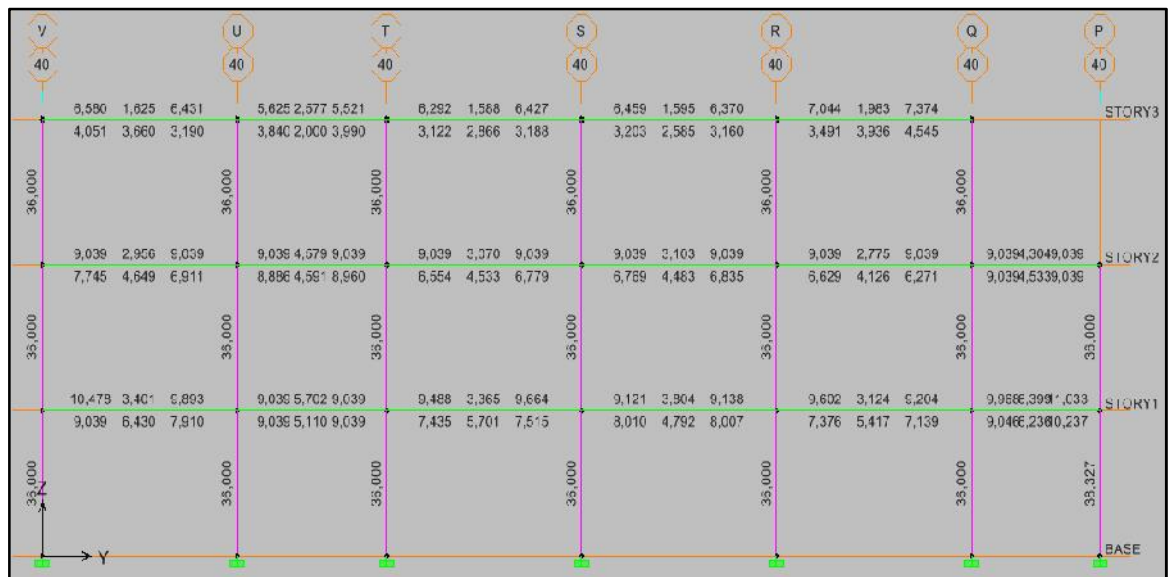
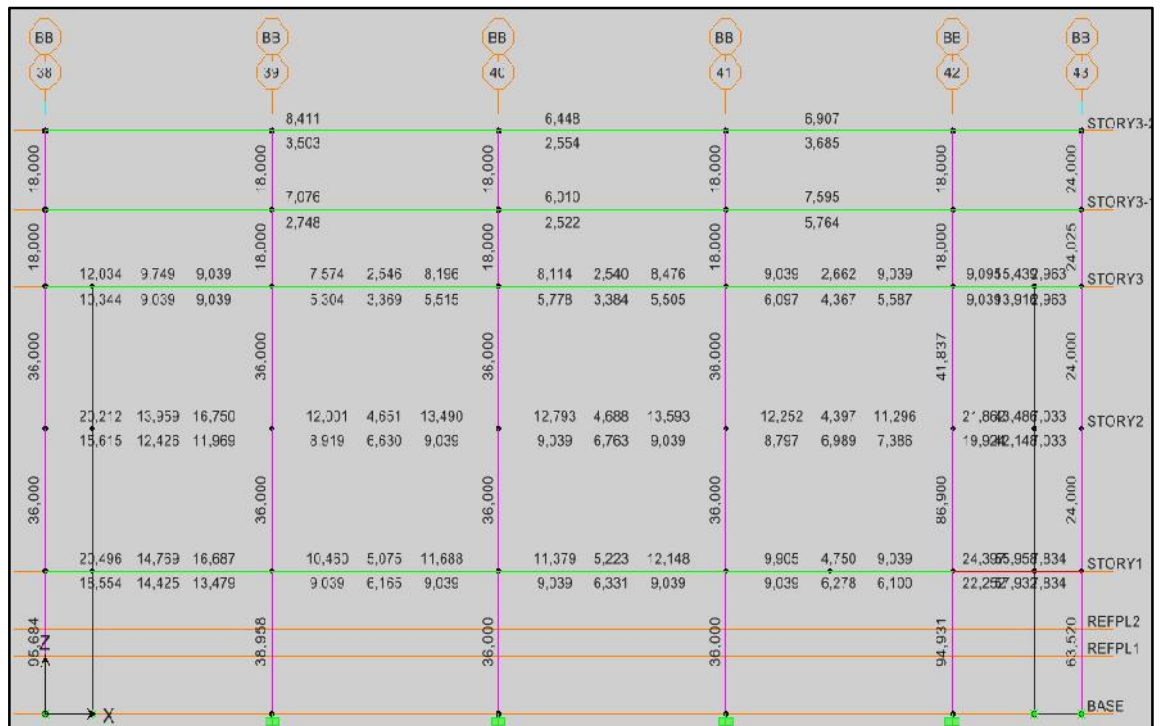
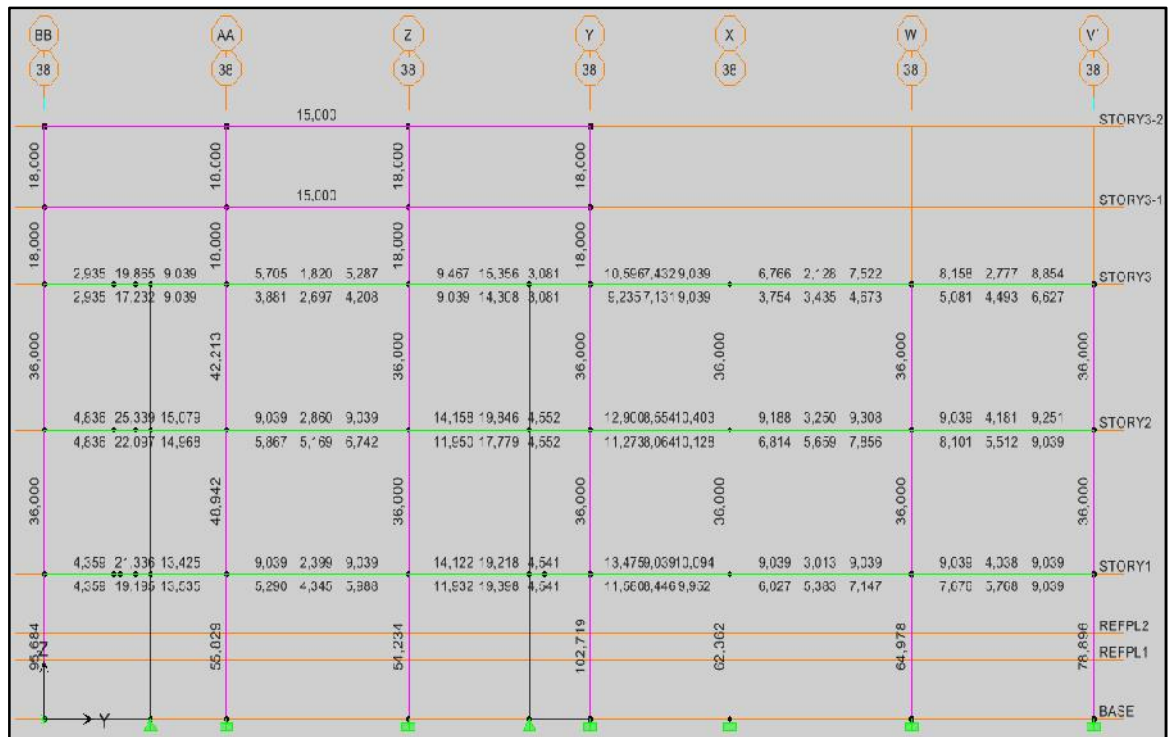


Fig.6.70.Acero en vigas pórtico 40 (Crítico en Y), Consulta Externa I

CONSULTA EXTERNA DOS:



6.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS QUE ARROJAN LOS MODELOS

Luego del cálculo y diseño de los elementos estructurales de las edificaciones, se procede ahora a la comparación de varios parámetros de importancia, en lo que respecta a cálculo estructural se compara los modos de vibración, las derivas de piso, el índice de estabilidad Q_i y efecto $P-\Delta$; dentro del diseño en hormigón armado se comparará el área de las secciones, la cuantía de acero en columnas y en vigas.

MODOS DE VIBRACIÓN:

Se presenta un compendio de tablas de resumen, donde constan los modos de vibración por cada edificio y cada código.

HALL CENTRAL									
Modo	Período	RX	RY	RZ	Modo	Período	RX	RY	RZ
ANÁLISIS ESTÁTICO, NEC-11					ANÁLISIS ESTÁTICO, CEC-2002				
1	1,169	0,3997	98,3248	0,6341	1	1,1115	1,2356	93,1891	4,0085
2	0,9431	96,4432	0,5583	1,6242	2	0,9131	90,2013	2,7885	4,3953
3	0,8254	2,4215	0,5	69,8473	3	0,741	7,8674	3,3965	64,025
4	0,3209	0,0008	0,1897	0,2139	4	0,3064	0,0022	0,1868	0,8709
5	0,2575	0,2434	0,0032	0,4815	5	0,2459	0,2453	0,0061	0,0162
ANÁLISIS DINÁMICO, NEC-11					ANÁLISIS DINÁMICO, CEC-2002				
1	1,1676	0,3955	98,3443	0,6145	1	1,1676	0,3955	98,3443	0,6145
2	0,942	96,5664	0,5471	1,5297	2	0,942	96,5664	0,5471	1,5297
3	0,8249	2,3011	0,491	69,9626	3	0,8249	2,3011	0,491	69,9626
4	0,3204	0,0008	0,1916	0,2057	4	0,3204	0,0008	0,1916	0,2057
5	0,2573	0,2429	0,0033	0,5018	5	0,2573	0,2429	0,0033	0,5018

Tabla 6.51 Comparación de modos de vibración, Hall Central

GOBERNANTES									
Modo	Período	RX	RY	RZ	Modo	Período	RX	RY	RZ
ANÁLISIS ESTÁTICO, NEC-11					ANÁLISIS ESTÁTICO, CEC-2002				
1	0,766095	95,4165	0,0125	3,8714	1	1,140285	91,1521	0,0151	7,5905
2	0,729402	0,0469	99,3518	0,1877	2	1,097216	0,0389	99,551	0,0385
3	0,703703	4,1793	0,2724	76,3549	3	1,058113	8,471	0,0747	73,4323

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

4	0,22293	0,0095	0	0,2596	4	0,33453 7	0,0092	0	0,3323
5	0,21041 2	0	0,0053	0,0785	5	0,31631 7	0	0,007 5	0,0926
ANÁLISIS DINÁMICO, NEC-11					ANÁLISIS DINÁMICO, CEC-2002				
1	0,76609 5	95,416 5	0,0125	3,8714	1	1,14028 5	91,152 1	0,015 1	7,5905
2	0,72940 2	0,0469	99,351 8	0,1877	2	1,09721 6	0,0389	99,55 1	0,0385
3	0,70370 3	4,1793	0,2724	76,354 9	3	1,05811 3	8,471	0,074 7	73,432 3
4	0,22293	0,0095	0	0,2596	4	0,33453 7	0,0092	0	0,3323
5	0,21041 2	0	0,0053	0,0785	5	0,31631 7	0	0,007 5	0,0926

Tabla 6.52 Comparación de modos de vibración, Gobernantes

CONSULTA EXTERNA UNO									
Modo	Período	RX	RY	RZ	Modo	Período	RX	RY	RZ
ANÁLISIS ESTÁTICO, NEC-11					ANÁLISIS ESTÁTICO, CEC-2002				
1	0,461437	0,0277	99,6619	0,2205	1	0,461437	0,0277	99,6619	0,2205
2	0,433211	99,6641	0,0309	0,1671	2	0,433211	99,6641	0,0309	0,1671
3	0,393908	0,096	0,0878	82,8269	3	0,393908	0,096	0,0878	82,8269
4	0,146832	0	0,0009	0,8191	4	0,146832	0	0,0009	0,8191
5	0,140169	0,0157	0	0,0468	5	0,140169	0,0157	0	0,0468
ANÁLISIS DINÁMICO, NEC-11					ANÁLISIS DINÁMICO, CEC-2002				
1	0,461437	0,0277	99,6619	0,2205	1	0,461437	0,0277	99,6619	0,2205
2	0,433211	99,6641	0,0309	0,1671	2	0,433211	99,6641	0,0309	0,1671
3	0,393908	0,096	0,0878	82,8269	3	0,393908	0,096	0,0878	82,8269
4	0,146832	0	0,0009	0,8191	4	0,146832	0	0,0009	0,8191
5	0,140169	0,0157	0	0,0468	5	0,140169	0,0157	0	0,0468

Tabla 6.53 Comparación de modos de vibración, Consulta Externa I

CONSULTA EXTERNA DOS									
Mod o	Período	RX	RY	RZ	Mod o	Período	RX	RY	RZ
ANÁLISIS ESTÁTICO, NEC-11					ANÁLISIS ESTÁTICO, CEC-2002				
1	0,45071 2	0,9218	88,407 1	8,0383	1	0,71064 6	1,2331	87,968 5	8,1557
2	0,33774 9	88,696 5	3,2982	5,625	2	0,53856 7	92,814 7	0,4943	0,6307
3	0,29562 7	8,0649	7,5679	56,673 8	3	0,46749 5	1,6965	10,856 7	63,858 8
4	0,17613 2	1,118	0,1286	4,666	4	0,37295 3	0,1423	0,0033	0,0902
5	0,15691	0,2464	0,0336	1,5813	5	0,36588	2,9965	0,0615	2,1889

	7					9			
ANÁLISIS DINÁMICO, NEC-11					ANÁLISIS DINÁMICO, CEC-2002				
1	0,45071 2	0,9218	88,407 1	8,0383	1	0,71982 7	1,1559	88,553 7	7,4752
2	0,33774 9	88,696 5	3,2982	5,625	2	0,54251 6	96,978 3	1,1014	0,0018
3	0,29562 7	8,0649	7,5679	56,673 8	3	0,48430 4	0,0012	9,705	67,859 3
4	0,17613 2	1,118	0,1286	4,666	4	0,31525 9	0,9619	0,0123	0,8429
5	0,15691 7	0,2464	0,0336	1,5813	5	0,31088 3	0,0261	0,0002	0,0324

Tabla 6.54 Comparación de modos de vibración, Consulta Externa II

CONCLUSIONES:

Los períodos de vibración son muy semejantes entre los análisis estático y dinámico y difieren en el orden de las milésimas en Hall Central, por el contrario entre códigos, con la NEC-11 arrojan mayores períodos, pero la diferencia es del orden de las centésimas.

Los porcentajes de participación modal son muy semejantes entre sí tomando en cuenta el análisis estático y dinámico y difieren cuando se trata de códigos, presentando con la nueva norma, la NEC-11, coeficientes más altos, en los dos modos traslacionales y el torsional.

En el edificio Gobernantes los períodos de vibración calculados con la NEC-11 son más bajos que los calculados con el CEC-2002, para todos los modos de vibración, particularmente presentan una diferencia de 0.3742s.

En cuanto a los porcentajes de participación modal, presenta diferencias solamente en el coeficiente de participación en "x", los demás coeficientes son esencialmente los mismos entre los análisis estático, dinámico y entre códigos.

En Consulta Externa Uno, los períodos son los mismos para todos los modos de vibración, así como los coeficientes de participación modal coinciden también en su totalidad.

En Consulta Externa Dos, los períodos de vibración varían, siendo los de la NEC-11 los más bajos en todos los modos, en cuanto a los coeficientes el

coeficiente en “Y” es mayor en el análisis NEC y el coeficiente en “X” es mayor en del análisis CEC; el Rz por su parte es mayor en el CEC.

La similitud entre los períodos de vibración y los coeficientes de participación modal de las estructuras se da entre códigos porque el análisis modal entre estos se lo realizó con las mismas secciones, las mismas cargas y rigideces; por tanto mismo centro de masas y de rigideces.

Comparando entre edificios, podemos decir que Hall Central posee los períodos más altos en los modos de vibración. Consulta Externa Uno tiene los coeficientes más altos de participación modal, queriendo decir que es la estructura que mejor cumple con los modos traslacionales y torsional.

Un detalle particular nos refiere a que en Hall Central, Consulta Externa Uno y Dos tienen el primer modo de vibración traslacional en “X”, el segundo en “Y”, en cambio Gobernantes tiene el primer modo traslacional en “Y” y el segundo en “X”.

DERIVAS DE PISO:

Para la comparación de las derivas de piso se presentan tablas resumen por cada edificio:

HALL CENTRAL, DERIVAS (%)									
PISO	NIVEL (m)	NEC-11, ESTÁTICO		NEC-11, DINÁMICO		CEC-2002, ESTÁTICO		CEC-2002, DINÁMICO	
		DERIVA X	DERIVA Y	DERIVA X	DERIVA Y	DERIVA X	DERIVA Y	DERIVA X	DERIVA Y
Tapagrada	30,72	0,842	0,694	0,375	0,363	0,412	0,350	0,190	0,182
Séptimo	27,72	0,935	0,725	0,399	0,373	0,457	0,363	0,197	0,185
Sexto	23,76	1,148	0,725	0,437	0,391	0,525	0,388	0,214	0,192
Quinto	19,80	1,237	0,824	0,474	0,403	0,591	0,407	0,229	0,196
Cuarto	15,84	1,301	0,829	0,490	0,399	0,625	0,410	0,235	0,193
Tercero	11,88	1,249	0,788	0,462	0,361	0,597	0,377	0,222	0,174
Segundo	7,92	1,007	0,667	0,365	0,278	0,473	0,296	0,176	0,139
Primero	3,96	0,472	0,370	0,167	0,158	0,217	0,177	0,082	0,078

Tabla 6.55 Comparación derivas de piso, Hall Central

GOBERNANTES, DERIVAS (%)									
PISO	NIVEL (m)	NEC-11, ESTÁTICO		NEC-11, DINÁMICO		CEC-2002, ESTÁTICO		CEC-2002, DINÁMICO	
		DERIVA X	DERIVA Y	DERIVA X	DERIVA Y	DERIVA X	DERIVA Y	DERIVA X	DERIVA Y
Tapagrada	23,76	0,213	0,284	0,184	0,255	0,218	0,290	0,157	0,211
Quinto	19,80	0,353	0,418	0,255	0,320	0,363	0,427	0,210	0,254
Cuarto	15,84	0,516	0,596	0,343	0,420	0,534	0,605	0,274	0,323
Tercero	11,88	0,624	0,709	0,398	0,476	0,647	0,717	0,316	0,361
Segundo	7,92	0,603	0,662	0,377	0,435	0,625	0,673	0,300	0,333
Primero	3,96	0,320	0,332	0,198	0,216	0,251	0,260	0,159	0,168

Tabla 6.56 Comparación derivas de piso,

CONSULTA EXTERNA UNO, DERIVAS (%)									
PISO	NIVEL (m)	NEC-11, ESTÁTICO		NEC-11, DINÁMICO		CEC-2002, ESTÁTICO		CEC-2002, DINÁMICO	
		DERIVA X	DERIVA Y	DERIVA X	DERIVA Y	DERIVA X	DERIVA Y	DERIVA X	DERIVA Y
Tercero	11,88	0,402	0,326	0,193	0,160	0,249	0,202	0,141	0,117
Segundo	7,92	0,558	0,479	0,273	0,232	0,346	0,297	0,199	0,169
Primero	3,96	0,411	0,372	0,200	0,182	0,255	0,230	0,146	0,133

Tabla 6.57 Comparación derivas de piso, Consulta Externa I

CONSULTA EXTERNA DOS, DERIVAS (%)									
PISO	NIVEL (m)	NEC-11, ESTÁTICO		NEC-11, DINÁMICO		CEC-2002, ESTÁTICO		CEC-2002, DINÁMICO	
		DERIVA X	DERIVA Y	DERIVA X	DERIVA Y	DERIVA X	DERIVA Y	DERIVA X	DERIVA Y
Celosía	15,84	0,198	0,142	0,380	0,642	0,192	0,136	0,239	0,591
Tercero	11,88	0,357	0,218	0,504	0,282	0,367	0,196	0,326	0,221
Segundo	7,92	0,482	0,232	0,547	0,305	0,488	0,220	0,390	0,237
Primero	3,96	0,324	0,134	0,343	0,237	0,356	0,172	0,277	0,183

Tabla 6.58 Comparación derivas de piso, Consulta Externa II

CONCLUSIONES:

El análisis estructural que presenta las mayores derivas de piso en Hall Central es con la NEC-11, análisis estático, esto es comprensible ya que el

coeficiente de cortante basal es mayor y por tanto las fuerzas sísmicas por piso provocan mayores desplazamientos.

Existe una relación del doble, entre las derivas de piso del CEC-2002 y las de la NEC-11.

Las derivas del análisis estático son en promedio 2.2 veces las derivas del análisis dinámico de la estructura.

En Gobernantes las derivas entre los códigos CEC-2002 y NEC-11 son muy similares, de la misma forma entre al análisis estático y dinámico existe una diferencia del 20%.

El nivel que presenta los mayores desplazamientos es el N+11.88m, en Gobernantes.

En la edificación Consulta Externa Uno así mismo, la NEC-11 presenta las mayores derivas y éstas son el doble de las presentadas por el CEC-2002.

El análisis estático tiene casi el doble de desplazamiento de lo que presenta el análisis dinámico.

En Consulta Externa Dos las derivas entre NEC-11 y CEC-2002 son similares, esto puede atribuirse a los nuevos diafragmas que se implantaron para el análisis NEC-11; los mismos que dan más estabilidad y menos deformabilidad de la estructura.

El nivel que proporciona más desplazamientos es el N+7.92m, en todos los casos.

El edificio que tiene las mayores derivas es Hall Central con una deriva del 1.30% en el nivel N+15.84m, en el análisis estático con NEC-11; el segundo en orden descendente es Gobernantes con 0.71% en N+11.88m con el mismo análisis.

El que presenta las menores derivas es Consulta Externa Uno con 0.12% en N+11.88m y con CEC-2002 análisis dinámico, este mismo presenta las

menores derivas con la NEC-11, con una deriva de 0.16% en análisis dinámico.

EFFECTOS P-U1

Para la comparación de este efecto en los diferentes edificios se presenta a continuación la tabla de resumen:

CORTANTE BASAL POR NIVELES E ÍNDICE DE ESTABILIDAD					
HALL CENTRAL, NEC-11			HALL CENTRAL, CEC-2002		
PISO	Fi Ton	Qi	PISO	Fi Ton	Qi
7	77,87	0,001	7	47,78	0,0023
6	507,47	0,001	6	255,35	0,0013
5	422,89	0,001	5	212,79	0,0033
4	338,31	0,003	4	170,23	0,0075
3	253,73	0,006	3	127,67	0,0161
2	169,16	0,013	2	85,12	0,0347
1	84,58	0,029	1	42,56	0,0749
Suma	1854	-	Suma	941,5	-
GOBERNANTES, NEC-11			GOBERNANTES, CEC-2002		
PISO	Fi Ton	Qi	PISO	Fi Ton	Qi
5	75,3	0,002	5	36,9	0,004
4	557,72	0,001	4	256,16	0,002
3	407,62	0,004	3	187,22	0,008
2	232,92	0,012	2	106,98	0,027
1	54,43	0,059	1	25	0,1
Suma	1328	-	Suma	612,27	-
CONSULTA EXTERNA UNO, NEC-11			CONSULTA EXTERNA UNO, CEC-2002		
PISO	Fi Ton	Qi	PISO	Fi Ton	Qi
3	61,82	0,005	3	29,51	0,006
2	1257,61	0,001	2	513,26	0,002
1	687,58	0,005	1	280,62	0,007

Suma	2007	-	Suma	823,39	-
CONSULTA EXTERNA DOS, NEC-11			CONSULTA EXTERNA DOS, CEC-2002		
PISO	Fi	Qi	PISO	Fi	Qi
	Ton			Ton	
4	65,4	0,0001	4	31,83	0,0002
3	640,88	0,0004	3	271,87	0,0009
2	741,21	0,0017	2	314,43	0,004
1	384,51	0,0071	1	163,11	0,0183
Suma	1832	-	Suma	781,24	-

Tabla 6.59 Comparación de la Cortante basal por niveles e índice de estabilidad Qi

CONCLUSIONES:

En todos los casos el coeficiente de estabilidad, obtenido con los parámetros NEC-11 es menor al CEC-2002, esto es comprensible ya que con la NEC-11 se tiene mayores valores de fuerzas sísmicas por niveles y este está en el denominador por lo que nos arroja valores más pequeños de Qi de acuerdo a la ecuación correspondiente.

Gobernantes presenta el mayor índice de estabilidad en el nivel N+3.96m y Consulta Externa Dos tiene los valores más bajos a nivel N+14.00m.

Ningún valor de todos los edificios del índice Qi sobrepasa el valor de 0.1, por lo que no es necesario tomar en cuenta los efectos P-Δ.

ACERO EN LAS COLUMNAS:

Comparando las tablas de áreas de acero, número y cantidad de varillas en todos los edificios; el acero sube entre 50% a 80% en columnas cuadradas y rectangulares; en columnas circulares las áreas de acero también suben en un 35% a 55%. En lo que corresponde a cuantías con las secciones planteadas en los modelos con el CEC-2002 tienen cuantías del 1% a 1.8% en cambio con la NEC-11 las cuantías suben a 2% y 3% como máximo; dando en algunos casos congestionamiento de varillas, por lo que es necesario aumentar un 20% el área bruta de sección transversal de las columnas.

ACERO EN VIGAS:

El acero en las vigas se eleva en todos los edificios, en todas las vigas; esto es deducible ya que al subir el coeficiente de cortante basal sube la fuerza sísmica correspondiente a cada piso y por consecuencia los valores de los diagramas de momentos en las vigas será más elevado y por tanto el área de acero. En promedio con la NEC-11 sube un 70% adicional al acero dado por los modelos CEC-2002.

CAPÍTULO VII

7.0. AISLAMIENTO BASAL DE LAS ESTRUCTURAS

Una vez completado los modelos computacionales tradicionales, procedemos al diseño de los aisladores sísmicos de base, para el efecto se presenta a continuación un estudio de alternativas de los mencionados aisladores para los edificios, luego se expondrá un cálculo típico y finalmente un diseño definitivo de los aisladores.

7.1. CONDICIONES GENERALES EN EL DISEÑO DE LA AISLACIÓN BASAL

En el Ecuador la norma vigente, el CEC-2002, no tiene información o regulación alguna acerca de este tipo de sistemas. La nueva norma NEC-11 en el capítulo 2 hace referencia a sistemas de control de respuesta sísmica, como un sistema de dispositivos adaptados a las estructuras para modificar las características dinámicas de las mismas; pero se limita a definir y nada más. Ante la falta de una norma que regule el diseño e implementación de este tipo de sistemas se decide utilizar como base la NCh2745-2003 (Análisis y diseño de edificios con aislación sísmica-Requisitos), esta es una norma Chilena que norma y regula el diseño de edificios con aislación sísmica; además este país posee varias construcciones con sistemas de aislación basal y otros tipos de amortiguaciones; se toma en cuenta esta norma también porque Chile es un país latinoamericano que ha avanzado mucho en ingeniería sísmica estructural de edificaciones.

Ahora bien, para obtener un sistema efectivo de amortiguación o aislación sísmica de las estructuras, se debe satisfacer los siguientes criterios:

- 1.- Resistir movimientos sísmicos menores y moderados sin daño a los elementos estructurales, elementos no estructurales, o a los contenidos del edificio.
- 2.- Resistir movimientos sísmicos mayores sin que el sistema de aislamiento colapse, sin daños significativos a los elementos estructurales y no estructurales y sin mayor interrupción al funcionamiento del edificio.
- 3.- Tener una gran flexibilidad horizontal, de modo de alargar el período fundamental de vibración de la estructura, a una zona de menos aceleración espectral.
- 4.- Proveer una rigidez suficiente para cargas de servicio de la estructura, de modo de evitar vibraciones molestas e innecesarias.
- 5.- Soportar el peso propio y sobrecargas de la estructura con un factor de seguridad adecuado.
- 6.- Tener una rigidez vertical alta para evitar la amplificación vertical o el balanceo de la estructura.
- 7.- Proveer de un adecuado nivel de amortiguamiento, de modo de reducir la demanda de deformación sobre el sistema de aislación.
- 8.- Ser capaz de soportar las deformaciones de corte que le serán impuestas por un sismo de gran magnitud.
- 9.- El sistema de aislación debe asegurar una vida útil de por lo menos igual al de la estructura, o proveer de algún sistema que posibilite la sustitución de los aisladores.
- 10.- La efectividad del sistema de aislación no debe estar limitada a la ocurrencia de un sismo severo, es decir, el sistema debe ser efectivo durante el sismo y después de él, para soportar las probables réplicas.

11.- El sistema de aislación deberá permanecer inactivo ante fuerzas de viento y gravitacionales, es decir en un rango normal de condiciones climáticas y ambientales.

7.2. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE AISLACIÓN BASAL PARA LAS ESTRUCTURAS

Existen varios tipos de aisladores de base como se estudió en el capítulo II, pero para este trabajo de graduación, en la aislación de las edificaciones en estudio y por ser modelos computacionales; no experimentales se ha seleccionado los aisladores que poseen más información de diseño, que su comportamiento estructural se ha demostrado y comprobado teórica y experimentalmente, estos son:

- 1.- Aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDR)
- 2.- Aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB)

7.3. DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE AISLACIÓN

Se presenta el diseño de los aisladores basado en la norma Chilena NCh2745, complementada con la UBC, la norma NCh432 (Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones) y la norma NCh433 (Diseño sísmico de edificios). En este caso se presenta un procedimiento de diseño iterativo, en el cual el éxito estará en función de los datos iniciales; sin descartar que existan una variedad de procesos para diseño de estos aisladores; dejando en claro que lo importante será siempre cumplir los objetivos con un factor de seguridad que garantice su comportamiento.

En el diseño de estos aisladores existen datos comunes así como otros específicos; a continuación se enumera estos datos generales:

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

- 1.- El número de aisladores que se utilizarán en el sistema de aislación, que se denominará ***N***;
2. Peso total de la estructura sobre el sistema de aislación: ***W***, éste corresponde al peso sísmico del edificio ($D+0.25L$);
3. Período objetivo deseado: ***TD***;
4. Carga máxima (***P_{max}***) bajo la cual estará actuando el aislador en su vida útil que está dada por el peso sísmico;
5. Carga mínima (***P_{min}***) bajo la cual estará actuando el aislador durante su vida útil.

A continuación se presentan los datos antes mencionados tabulados para las estructuras en estudio.

EDIFICIO	HDR			HDR + LBR		
GOBERNANTES	N=	28	u	N=	18LBR+10HDR	u
	W=	3796,1	Ton	W=	3796,1	Ton
	TD=	2,0	s	TD=	2,0	s
	P _{max} =	395,6	Ton	P _{max} =	395,6	Ton
	P _{min} =	194,3	Ton	P _{min} =	194,3	Ton
CONSULTA EXTERA UNO	N=	40	u	N=	20LBR+20HDR	u
	W=	3074,9	Ton	W=	3074,9	Ton
	TD=	2,0	s	TD=	2,0	s
	P _{max} =	197,3	Ton	P _{max} =	197,3	Ton
	P _{min} =	110,9	Ton	P _{min} =	110,9	Ton
CONSULTA EXTERA DOS	N=	49	u	N=	28LBR+21HDR	u
	W=	3275	Ton	W=	3275	Ton
	TD=	2,0	s	TD=	2,0	s
	P _{max} =	533,71	Ton	P _{max} =	533,71	Ton
	P _{min} =	61,5	Ton	P _{min} =	61,5	Ton
HALL CENTRAL	N=	46	u	N=	32LBR+13HDR	u
	W=	5811,8	Ton	W=	5811,8	Ton
	TD=	2,0	s	TD=	2,0	s
	P _{max} =	799,5	Ton	P _{max} =	799,5	Ton
	P _{min} =	295,8	Ton	P _{min} =	295,8	Ton

Tabla 7.1 Datos tabulados de aisladores

7.4. AISLADOR ELASTOMÉRICO DE ALTO AMORTIGUAMIENTO (HDR)

7.4.1. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN AISLADOR

Tenemos a continuación el diseño paso a paso de este aislador, en donde constan los datos expuestos en el ítem anterior, además de los datos particulares específicos de cada edificio como son:

- Se establece los límites para la deformación de corte directa máxima, s y de la deformación de corte máxima admisible max .
- Se calcula el desplazamiento de diseño (DD) y el desplazamiento Máximo (DM).
- Se estima un valor del amortiguamiento. (10%-20%)
- Se decide por la forma de la sección transversal.
- Se establece la tensión admisible de compresión, σ_{AC}
- Se determina el sistema de conexión de los aisladores.

Tenemos entonces en una forma objetiva y resumida el proceso iterativo de diseño en los siguientes pasos:

Paso 0. En este ítem se presenta las ecuaciones para el cálculo de D_M y D_D , como nuestro código CEC-2002 y NEC-11 carecen de normativas para el efecto se adoptará del código chileno, la NCh2745 y la NCh433.

$$D_D = \frac{C_D}{\beta_D} \quad (\text{Ec.7.1})$$

$$D_M = \frac{C_M}{\beta_M} \quad (\text{Ec.7.2})$$

D_D : Desplazamiento de diseño

C_D : Coeficiente sísmico de desplazamiento

D_r , M : Factor que depende del amortiguamiento efectivo

D_M : Desplazamiento máximo

C_M : Coeficiente sísmico de desplazamiento para desplazamiento máximo

COEFICIENTE SÍSMICO DE DESPAZAMIENTO	TIPO DE SUELO	C_D (mm)	C_M (mm)
I		200 Z	200 MM Z
II		300 Z	300 MM Z
III		330 Z	330 MM Z

Tabla 7.2 Coeficiente sísmico de desplazamiento

FACTOR QUE DEPENDE DE LA ZONIFICACIÓN NCh 433	
ZONA SÍSMICA	Z
1	0,75
2	1,00
3	1,25
FACTOR DE AMPLIFICACIÓN PARA EL SISMO MAXIMO POSIBLE (probabilidad de excedencia 10% en 100años)	
ZONA SÍSMICA	MM
1, 2, 3	1,2

Tabla 7.3 Factor depende de la zonificación

Tabla 7.4 Factor de amplificación para sismo max. Posible

Amortiguamiento efectivo B_D o B_M como porcentaje del amortiguamiento crítico	Factor B_D o B_M
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
≥ 50	2.0

Tabla 7.5 Amortiguamiento efectivo B_D o B_M

Tipo de suelo	Descripción
I	Roca: Material natural, con velocidad de propagación de ondas de corte in-situ igual o mayor que 900 m/s, o bien, resistencia de la compresión uniaxial de probetas intactas (sin fisuras) igual o mayor que 10 MPa y RQD igual o mayor que 50%.
II	<p>a) Suelo con v_s igual o mayor que 400 m/s en los 10 m superiores, y creciente con la profundidad; o bien,</p> <p>b) Grava densa, con peso unitario seco γ_d igual o mayor que 20 kN/m³, o índice de densidad $ID(DR)$ (densidad relativa) igual o mayor que 75%, o grado de compactación mayor que 95% del valor Proctor Modificado; o bien</p> <p>c) Arena densa, con $ID(DR)$ mayor que 75%, o Índice de Penetración Estándar N mayor que 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa), o grado de compactación superior al 95% del valor Proctor Modificado; o bien,</p> <p>d) Suelo cohesivo duro, con resistencia al corte no drenado s_u igual o mayor que 0,10 MPa (resistencia a la compresión simple q_u igual o mayor que 0,20 MPa) en probetas sin fisuras.</p> <p>En todo los casos, las condiciones indicadas se deben cumplir independientemente de la posición del nivel freático y el espesor mínimo del estrato debe ser 20 m. Si el espesor sobre la roca es menor que 20 m, el suelo se debe clasificar como tipo I.</p>
III	<p>a) Arena permanentemente no saturada, con $ID(DR)$ entre 55 y 75%, o N mayor que 20 (sin normalizar a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa); o bien,</p> <p>b) Grava o arena no saturada, con grado de compactación menor que el 95% del valor Proctor Modificado; o bien,</p> <p>c) Suelo cohesivo con s_u comprendido entre 0,025 y 0,10 MPa (q_u entre 0,05 y 0,20 MPa) independientemente del nivel freático; o bien,</p> <p>d) Arena saturada con N comprendido entre 20 y 40 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa).</p> <p>Espesor mínimo del estrato: 10 m. Si el espesor del estrato sobre la roca o sobre suelo correspondiente al tipo II es menor que 10 m, el suelo se debe clasificar como tipo II.</p>
IV	<p>Suelo cohesivo saturado con s_u igual o menor que 0,025 MPa (q_u igual o menor que 0,050 MPa).</p> <p>Espesor mínimo del estrato: 10 m. Si el espesor del estrato sobre suelo correspondiente a algunos de los tipos I, II o III es menor que 10 m, el suelo se debe clasificar como tipo III.</p>

Fig. 7.1 Tipos de suelo según la NCh-2745

Paso 1. Calcular la rigidez horizontal total, de todo el sistema de aislación y luego de cada aislador en forma independiente dado por:

$$k_{Htot} = \frac{4\pi^2 * W}{T_D * g} \quad (\text{Ec.7.3})$$

$$k_H = \frac{k_{Htot}}{N} \quad , \text{ donde: } (\text{Ec.7.4})$$

K_{Htot} : Rigidez total necesaria de los aisladores de base,

K_H : Rigidez de un aislador,

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

W: Peso sísmico del edificio

T_D: Período deseado

g: Aceleración de la gravedad

Paso 2. Con la tensión admisible de compresión y la carga máxima (P_{max}), se establece el área del aislador (y con el área obtenemos el diámetro), que viene dado por:

$$A = \frac{P_{MA}}{\sigma_{AC}} \quad (\text{Ec.7.5})$$

$$A = \frac{\pi}{4} * \phi^2 \quad (\text{Ec.7.6})$$

A: Área de un aislador

P_{max}: Carga máxima axial

σ_{AC}: Esfuerzo admisible en compresión del neopreno

φ: Diámetro de un aislador

Paso 3. Se calcula un valor para H_r, utilizando la deformación lateral por corte y el desplazamiento de diseño con la siguiente relación:

$$H_r = \frac{D_D}{\gamma_s} \quad (\text{Ec.7.7})$$

H_r: Altura necesaria del elastómero

D_D: Desplazamiento de diseño

γ_s: Deformación por corte

Paso 4. Se calcula el valor del módulo de corte G del elastómero, haciendo uso de los datos anteriores, el valor de G se verifica que esté dentro de ciertos rasgos típicos y posibles dentro de las ofertas del mercado.

$$G = \frac{K_H * H_r}{A} \quad (\text{Ec.7.8})$$

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

G: Módulo de corte del elastómero

K_H : Rigidez de un aislador

H_r : Altura del elastómero

A: Área de un aislador

Paso 5. Se asume un valor para el espesor de la capa de elastómero, t_r de acuerdo a la experiencia y las recomendaciones. Este valor es muy importante ya que controla la flexibilidad horizontal del aislador, e influye en la rigidez vertical a través del factor de forma.

Paso 6. Se calcula el valor del factor de forma S , el cual es un parámetro a dimensional que mide el “tamaño relativo” de una lámina de elastómero, se define como la razón entre el área cargada de la goma por el área que está libre de hinchamiento (libre de confinamiento a la expansión), para secciones circulares y anulares la ecuación de cálculo es:

$$S = \frac{\text{Área cargada}}{\text{Área de hinchamiento}} \quad (\text{Ec.7.9})$$

$$S = \frac{D_e - D_i}{4 t_r}$$

S: Factor de forma

D_e : Diámetro exterior

D_i : Diámetro interior

t_r : Espesor de una capa de elastómero

Paso 7. Con el valor del espesor de la capa de elastómero (t_r), y el valor del espesor total de la capa de goma (H_r), se determina el número de capas de goma, dada por:

$$n = \frac{H_r}{t_r} \quad (\text{Ec.7.10})$$

n: número de capas de elastómero.

Paso 8. Se propone un valor para las placas de acero t_s , y se verifica que la tensión de trabajo no sobrepase el valor admisible. Para esto primero se calcula el valor del esfuerzo máximo de tracción en las placas σ_s , la cual depende del cociente entre los espesores de la capa de elastómero, de acero y de la compresión máxima en el aislador; luego se tiene el esfuerzo admisible σ_{adm} ; se debe cumplir que σ_s no sobrepase a σ_{adm} para que el valor propuesto sea válido.

$$\sigma_s = 1.5 \frac{t_r}{t_s} \sigma_{AC} \quad (\text{Ec.7.11})$$

$$\sigma_{adm} = 0.75 f_Y$$

$$\sigma_s \leq 1.5 \sigma_{adm}$$

σ_s : Esfuerzo de trabajo de las placas de acero,

σ_{adm} : Esfuerzo admisible del acero

σ_{AC} : Esfuerzo a compresión del elastómero

f_Y : esfuerzo de fluencia del acero,

Paso 9. Calcular la altura total del aislador, la cual es la suma de las capas de elastómero y las placas de acero que es la altura parcial del aislador H_t , más las placas de acero superior e inferior de anclaje lo cual entrega la altura total del aislador H :

$$H_t = H_r + (n - 1)t_s \quad (\text{Ec.7.12})$$

$$H = h + 2t_{ext} \quad (\text{Ec.7.13})$$

H : Altura total del aislador

H_t : Altura del aislador (placas de elastómero y acero)

Hr: espesor de las capas de neopreno

ts: espesor de las capas de acero,

t_{ext}: espesor de las placas de anclaje

Paso 10. Cálculo de la rigidez y frecuencia vertical, se debe verificar que el sistema de aislación posea una rigidez vertical mínima de para disminuir deformaciones verticales y amplificaciones de las aceleraciones, esto se logra con una frecuencia vertical que sea superior a 10Hz. La expresión para la rigidez vertical de un aislador es:

$$K_v = \frac{E_C A}{H_r} \quad (\text{Ec.7.14})$$

$$E_C = \left[\frac{1}{6GS^2} + \frac{4}{3K} \right]^{-1} \quad (\text{Ec.7.15})$$

$$f_v = \sqrt{6} * S * f_H \quad (\text{Ec.7.16})$$

Kv: Rigidez vertical del aislador

Ec: Módulo de compresión del aislador (conjunto acero-elastómero)

G: Módulo de corte del elastómero

S: Factor de forma

K: Módulo de compresibilidad del elastómero (depende de la dureza del mismo)

f_h: Frecuencia vertical del aislador

f_v: Frecuencia horizontal del aislador

Otra manera de evaluar la frecuencia vertical del aislador es con la ecuación siguiente:

$$\frac{1}{F_v} = 2\pi * \sqrt{\frac{W}{K_H * g}} \quad (\text{Ec.7.17})$$

Fv: frecuencia vertical,

W: Peso sísmico de la estructura

K_H: Rigidez total de los aisladores

g: aceleración de la gravedad

Paso 11. Después de haber realizado las iteraciones y modificaciones necesarias, se calcula el valor del período de diseño a partir de los datos calculados, para comprobar que no se haya alejado del cual se comenzó el diseño.

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{W}{K_H * g}} \quad (\text{Ec.7.18})$$

T: Período de diseño,

W: Peso sísmico de la estructura

K_H: Rigidez total de los aisladores

g: aceleración de la gravedad

Paso 12. COMPROBACIÓN 1. Se calcula la deformación angular máxima, la cual debe estar bajo ciertos límites para asegurar que el aislador soportará el caso de un sismo de gran magnitud. La deformación angular máxima está dada por la suma de las deformaciones angulares asociadas al corte, compresión y flexión del aislador, sin embargo esta última se puede despreciar por la poca influencia en comparación con las otras, las siguientes son las expresiones que controlan este estado:

$$\gamma_{max} = \gamma_s + \gamma_c + \gamma_b \approx \gamma_s + \gamma_c \quad (\text{Ec.7.19})$$

$$\gamma_s = \frac{D_M}{H_r} \quad (\text{Ec.7.20})$$

$$\gamma_c = 6S\varepsilon_c \quad (\text{Ec.7.21})$$

$$\varepsilon_c = \frac{P_{max}/A}{E_o(1 + 2KS^2)} \quad (\text{Ec.7.22})$$

$$\gamma_{maxpropuesto} = \frac{0.85 \varepsilon_b}{FS} \quad (\text{Ec.7.23})$$

$$\gamma_{max} \leq \gamma_{maxprop}$$

γ_{max} : Deformacion máxima del aislador,

γ_s : Deformación por corte,

γ_c : Deformación por compresión,

γ_b : Deformación por flexión (despreciable),

DM: Desplazamiento máximo del aislador,

Hr: Espesor del elastómero,

S: Factor de forma,

ε_c : Deformación axial media de la capa de elastómero,

Pmax: Carga máxima

A: Área del aislador,

Eo: Factor dado por el fabricante

K: Valor que se considera entre 0.7 a 1.0;

$\gamma_{maxprop}$: Deformación maxima aceptable,

ε_b : Factor que por lo general se considera igual a 5.5

FS: Factor de seguridad mayor o igual que 1.5;

Si no cumple la condición se recomienda cambiar la altura del elastómero.

Paso 13. COMPROBACIÓN 2. Verificación al pandeo, esta condición de estabilidad tiene su fundamento en que bajo la combinación de corte y compresión, se puede producir el pandeo por flexión, lo que produce que la ecuación para la rigidez horizontal no sea exacta, ya que el pandeo causa algunas inclinaciones de las placas internas, haciendo que las caras de los elementos individuales no sean exactamente paralelas, lo que cambia ligeramente el comportamiento de las láminas de elastómero. Por esto se calcula el valor de la carga crítica, para la cual ocurre el fenómeno de pandeo y luego se verifica un factor de seguridad adecuado, que por lo general corresponde a 2; para la carga vertical máxima la secuencia de expresiones son:

$$P_{crit} = \frac{P_S}{2} \left[\sqrt{1 + 4 \frac{P_E}{P_S}} - 1 \right] \quad (\text{Ec.7.24})$$

$$P_S = (GA)_{eff} = GAs \quad (\text{Ec.7.25})$$

$$As = A \frac{Ht}{H_r} \quad (\text{Ec.7.26})$$

$$P_E = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{Ht^2} \quad (\text{Ec.7.27})$$

$$(EI)_{eff} = \frac{1}{3} * Ec * I \quad (\text{Ec.7.28})$$

$$I = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{De}{2} \right)^4 - \left(\frac{Di}{2} \right)^4 \right] \quad (\text{Ec.7.29})$$

$$\frac{P_{crit}}{P_{max}} \geq FS; FS \approx 2$$

P_{crit} : Carga critica capaz de provocar pandeo del aislador;

P_{max} : Carga máxima actuante,

P_s : Rigidez de corte efectiva,

P_E : Carga de alabeo para una columna sin deformación,

G : Modulo de corte

A_s : Área de corte efectiva,

H_t : Altura del aislador,

H_r : Altura de una capa de elastómero,

A : Área del aislador,

$(EI)_{eff}$: Rigidez a la inclinación,

I : Inercia del aislador,

FS : Factor de seguridad.

Si no cumple la condición se debe modificar el área del aislador o el espesor de las capas de elastómero.

Paso 14. COMPROBACIÓN 3. Verificación al volcamiento, en este caso se determina el máximo desplazamiento posible, ante el cual se puede producir el volcamiento o “roll out”, esto es para una carga vertical mínima; la expresión para el desplazamiento es:

$$D_{max} = \frac{P_{min} * \phi}{P_{min} + K_H H} \quad (Ec.7.30)$$

$$FS = \frac{D_{max}}{D_D} \quad (Ec.7.31)$$

D_{max} : Desplazamiento máximo

P_{min} : Carga mínima

K_H : Rigidez horizontal

Ht: Altura total del aislador.

FS: Factor de seguridad

En cuanto al factor de seguridad por volcamiento se refiere, este puede adoptar valores dependiendo del tipo de conexión de las placas del aislador y la columna; si la conexión está dada por llaves de cortante el FS debe ser mayor o igual que 2, ya que en este caso es más factible que se produzca este fenómeno; en cambio si la conexión está dada por sistema de pernos el factor de seguridad debe adoptar valores mayores o iguales que uno; para los edificios motivo de este trabajo de graduación se utilizará sistema de pernos como conexión.

Paso 15. Finalmente, se realiza un resumen de las dimensiones y propiedades del aislador.

7.4.2. DISEÑO DEL AISLADOR (HDR)

Se presenta a continuación el cálculo típico para el edificio Gobernantes; el diseño se expone paso a paso para el aislador de alto amortiguamiento HDR; los datos generales del diseño ya se presentaron en el numeral 7.3, a continuación se exponen los datos particulares para el aislador de este edificio.

- a.- Deformación de corte directa máxima, $\gamma_s = 150\%$,
- b.- Deformación de corte admisible, $\gamma_{max} = 250\%$
- c.- Amortiguamiento efectivo del sistema, $= 10\%$,
- d.- Conexión con sistema de pernos,
- e.- Esfuerzo admisible en compresión $\sigma_{AC} = 90 \text{ kg/cm}^2$,
- f.- Diámetro interno inicial 20cm.

Paso 0.

$$D_D = \frac{330 * 5/4}{1.20}$$

$$D_D = 343.80mm$$

$$D_{TD} = 1.1 * 343.80$$

$$D_{TD} = 378.12 mm$$

$$D_M = \frac{330 * 1.20 * 5/4}{1.20}$$

$$D_M = 412.50 mm$$

Paso 1. Calcular la rigidez horizontal total, de todo el sistema de aislación y luego de cada aislador en forma independiente dado por:

$$k_{Htot} = \frac{4\pi^2 * 3796.10}{2^2 * 9.81}$$

$$k_{Htot} = 3819.17 T/m$$

$$k_H = \frac{3819.17}{28}$$

$$k_H = 136.40 T/m$$

Paso 2. Con la tensión admisible de compresión y la carga máxima (Pmax), se establece el área del aislador (y con el área obtenemos el diámetro), que viene dado por:

$$A = \frac{395.6}{90}$$

$$A = 4395.56 cm^2$$

$$De = 74.9 \quad \rightarrow \quad 75.0cm \quad \rightarrow$$

$$A = 4103.71 cm^2, \text{ con } De=75cm$$

Paso 3. Se calcula un valor para H_r ,

$$H_r = \frac{34.4}{1.5}$$

$$H_r = 23.4 \text{ cm}$$

Paso 4. Se calcula el valor del módulo de corte G del elastómero:

$$G = \frac{136.4 * 22.9}{4103.71}$$

$$G = 7.62 \text{ kg/cm}^2$$

Paso 5. Se asume un valor para el espesor de la capa de elastómero t_r , de acuerdo a la experiencia y las recomendaciones.

$$t_r = 9 \text{ mm}$$

Paso 6. Se calcula el valor del factor de forma S ,

$$S = \frac{75 - 20}{4 * 0.9}$$

$$S = 15.28$$

Paso 7. Se determina el número de capas de elastómero:

$$n = \frac{23.4}{0.9}$$

$$n = 26 \text{ u}$$

Paso 8. Se propone un valor para las placas de acero t_s :

$$t_s = 3 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = 1.5 * \frac{9}{3} * 90$$

$$\sigma_s = 405 \text{ kg cm}^2$$

$$\sigma_{adm} = 0.75 * 2400$$

$$\sigma_{adm} = 1800 \text{ kg/cm}^2$$

$$405 \leq 1800 \text{ en kg/cm}^2 \quad \text{Cumple}$$

Paso 9. Calcular la altura total del aislador,

$$H_t = 23.40 + (26 - 1) * 0.3$$

$$H_t = 30.90 \text{ cm}$$

$$H = 30.90 + 2 * 2.5$$

$$H = 35.9 \text{ cm}$$

Paso 10. Cálculo de la rigidez y frecuencia vertical,

$$E_c = \left[\frac{1}{6 * 7.62 * 15.28^2} + \frac{4}{3 * 20000} \right]^{-1}$$

$$E_c = 6236.65 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_v = \frac{6236.65 * 4103.71}{23.40}$$

$$K_v = 109373.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$f_v = \sqrt{6} * 15.28 * 0.5$$

$$f_v = 18.71 \text{ hz}$$

$$\frac{1}{F_v} = 2\pi * \sqrt{\frac{3796.1}{136.4 * 28 * 9.81}}$$

$$F_v = 14.16 \text{ hz}$$

Paso 11. Se calcula el valor del período de diseño:

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{3796.10}{136.4 * 28 * 9.81}}$$

$$T = 2.02 \text{ s}$$

Paso 12. COMPROBACIÓN 1.

$$\gamma_{max} = \gamma_s + \gamma_c + \gamma_b \approx \gamma_s + \gamma_c$$

$$\gamma_s = \frac{41.3}{23.4}$$

$$\gamma_s = 1.76$$

$$\varepsilon_c = \frac{395.6/4103.7}{15.32(1 + 2 * 1 * 15.28^2)}$$

$$\varepsilon_c = 0.013$$

$$\gamma_c = 6 * 15.28 * 0.013$$

$$\gamma_c = 1.23$$

$$\gamma_{max_{propuesto}} = \frac{0.85 * 5.5}{1.5}$$

$$\gamma_{max_{propuesto}} = 3.12$$

$$\gamma_{max} \leq \gamma_{max_{prop}}$$

$$\mathbf{3.00 \leq 3.12 \text{ ok}}$$

Paso 13. COMPROBACIÓN 2. Verificación al pandeo,

$$A_s = 4103.71 * \frac{30.9}{23.4}$$

$$A_s = 5419.0 \text{ cm}^2$$

$$P_s = (GA)_{eff} = 7.92 * 5419.0$$

$$P_s = 41306.67 \text{ kg}$$

$$I = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{75}{2} \right)^4 - \left(\frac{20}{2} \right)^4 \right]$$

$$I = 1545301.57 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff} = \frac{1}{3} * 6236.65 * 1545301.57$$

$$(EI)_{eff} = 3212503885.2 \text{ kg.cm}^2$$

$$P_E = \frac{\pi^2 3212503885.2}{30.9^2}$$

$$P_E = 33206755.78 \text{ kg}$$

$$P_{crit} = \frac{41306.67}{2} \left[\sqrt{1 + 4 \frac{33206755.78}{41306.67}} - 1 \right]$$

$$P_{crit} = 1150707.93 \text{ kg}$$

$$\frac{P_{crit}}{P_{max}} = 2.9$$

$$\frac{P_{crit}}{P_{max}} = 2.9 \geq 2 \quad \text{ok}$$

Paso 14. COMPROBACIÓN 3. Verificación al volcamiento,

$$D_{max} = \frac{194.3 * 100}{194.3 + 136.40 * 30.9}$$

$$D_{max} = 82.17$$

$$FS = \frac{82.17}{34.4}$$

$$FS = 2.39$$

$$2.39 > 2 \quad \text{ok}$$

Paso 15. Resumen de dimensiones y gráfico respectivo.

- a.- Diámetro exterior de 75 cm y diámetro interior de 20cm;
- b.- Altura total de 35.9 cm, 23.4 cm de elastómero repartido en 26 capas y 7.5 cm de acero repartido en 25 capas, más dos placas de anclaje de 2.5 cm cada una.
- c.- Módulo de corte del elastómero de 7.62 kg/cm²,
- d.- Rigidez horizontal de 136.40 T/m.



Fig. 7.2 Aislador HDR, Dimensionamiento planta

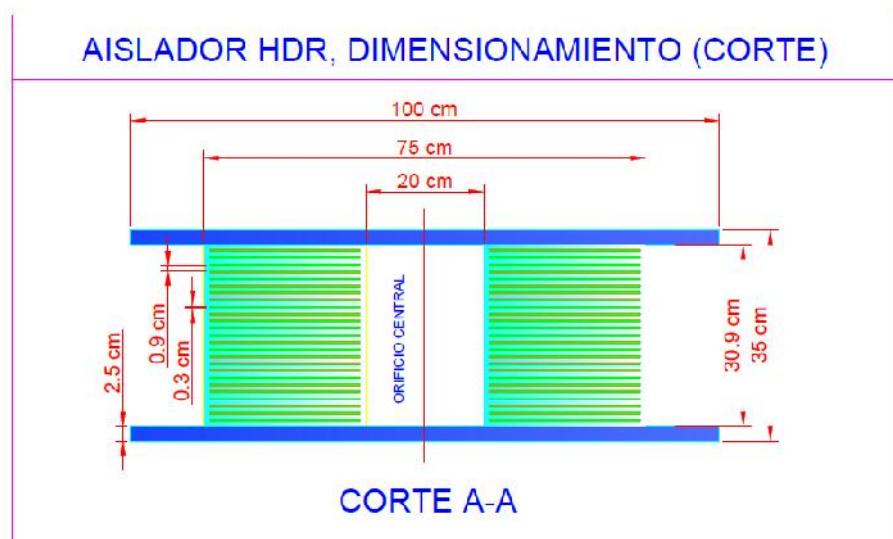


Fig. 7.3 Aislador HDR, Dimensionamiento corte

A continuación se presenta una tabla de resumen del diseño de los aisladores HDR para las demás estructuras en estudio para que sea más fácil su análisis y conclusiones:

EDIFICIO	De	Di	ALTURAS (cm)			G	K _H
	(cm)	(cm)	ELASTÓMERO	ACERO	TOTAL	kg/cm ²	T/m
GOBERNANTES	75,00	20,00	23,40	7,50	35,90	7,62	136,40
CONSULTA EXTERNA UNO	55,00	20,00	23,40	11,40	39,80	8,60	77,34
CONSULTA EXTERNA DOS	90,00	20,00	23,10	9,60	37,70	2,55	67,24
HALL CENTRAL	110,00	20,00	23,80	6,50	35,30	3,17	127,11

Tabla 7.6 Resumen del diseño del Aislador HDR

7.5. AISLADOR ELASTOMÉRICO CON NÚCLEO DE PLOMO

7.5.1. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN AISLADOR

Se presenta el procedimiento paso a paso del diseño de una aislador con núcleo de plomo, similar al diseño del HDR; es importante recordar que la segunda opción de aislación es la combinación de LBR que estarán dispuestos en las columnas perimetrales y los HDR dispuestos en la parte interna de la estructura. Se presentan entonces los datos particulares del sistema:

- Se establece los límites para la deformación de corte directa máxima, s y de la deformación de corte máxima admisible max , para los dos sistemas,
- Se calcula el desplazamiento de diseño (DD) y el desplazamiento máximo (DM).
- Se estima un valor del amortiguamiento. (10%-20%)
- Se decide por la forma de la sección transversal.
- Se establece la tensión admisible de compresión del elastómero, σ_{AC}
- Se establece la tensión de fluencia del plomo,
- Se determina el sistema de conexión de los aisladores.

Disponemos entonces de una forma objetiva y resumida el proceso iterativo de diseño en los siguientes pasos:

Paso 0. Cálculo del desplazamiento de diseño y el desplazamiento máximo, se lo realiza con las mismas tablas del numeral 7.4.1 y las siguientes ecuaciones:

$$D_D = \frac{C_D}{\beta_D} \quad (\text{Ec. 7.32})$$

$$D_M = \frac{C_M}{\beta_M} \quad (\text{Ec.7.33})$$

D_D : Desplazamiento de diseño,

C_D : Coeficiente sísmico de desplazamiento,

β_D, β_M : Factor que depende del amortiguamiento efectivo,

D_M : Desplazamiento máximo,

C_M : Coeficiente sísmico de desplazamiento para desplazamiento máximo.

Paso 1. Calcular la rigidez horizontal total de todo el sistema de aislación, y luego de cada aislador en forma independiente, aunque estrictamente los sistemas tienen diferente rigidez horizontal, se puede aproximar inicialmente que este valor será igual para los dos, obtenido según el número de cada uno de los tipos de aisladores y su respectivo valor de amortiguamiento.

$$\beta_T = \frac{N_{HDI} \beta_{HDI} + N_{LBR} \beta_{LBR}}{N} \quad (\text{Ec.7.34})$$

$$k_{Htot} = \frac{4\pi^2 * W}{T_D^2 * g} \quad (\text{Ec.7.35})$$

$$k_H = \frac{k_{Htot}}{N} \quad (\text{Ec.7.36})$$

Dónde:

β_T : Amortiguamiento efectivo ponderado entre HDR y LBR,

N_{HDR} : Número de aisladores HDR,

β_{LBR} : Amortiguamiento efectivo de los aisladores LBR,

N: Número total de aisladores,

K_{Htot} : Rigidez total necesaria de los aisladores de base,

K_H : Rigidez de un aislador,

W: Peso sísmico del edificio,

T_D : Período deseado,

g: Aceleración de la gravedad.

Paso 2. Con la tensión admisible de compresión y la carga máxima (Pmax), se establece el área del elastómero del aislador, que viene dado por:

$$A = \frac{P_{MAI}}{\sigma_{AC}} \quad (\text{Ec.7.37})$$

$$A = \frac{\pi}{4} * \Phi^2 \quad (\text{Ec.7.38})$$

A: Área de un aislador,

Pmax: Carga máxima axial,

σ_{AC} : Esfuerzo admisible en compresión del neopreno,

Φ : Diámetro de un aislador.

Paso 3. Se establece un valor para la capacidad del aislador a cero deformación en función del peso de la estructura, con esto unido al valor de tensión de fluencia del plomo se puede obtener el diámetro de plomo, el cual se verifica que esté dentro de rangos adecuados y recomendados.

$$\frac{Q}{W} = \% \quad (\text{Ec.7.39})$$

$$A_P = \frac{Q}{\tau_y} \quad (\text{Ec.7.40})$$

$$\frac{D}{6} < d_p < \frac{D}{3}$$

Q: Resistencia característica,

W: Peso sísmico de la edificación,

A_P : Área del núcleo de plomo,

τ_y : Esfuerzo de fluencia del plomo,

D: Diámetro externo del dispositivo.

Paso 4. Se calcula un valor para H_r , utilizando la deformación lateral por corte y el desplazamiento de diseño, este valor es el mismo para HDR y LRB; con la siguiente relación:

$$H_r = \frac{D_D}{\gamma_S} \quad (\text{Ec.7.41})$$

H_r : Altura necesaria del elastómero,

D_D : Desplazamiento de diseño,

γ_S : Deformación por corte.

Paso 5. Se calcula el valor del módulo de corte G del elastómero, haciendo uso de los datos anteriores, el valor de G se verifica que esté dentro de ciertos intervalos típicos y posibles dentro de las ofertas del mercado.

$$G = \frac{K_H * H_r}{A} \quad (\text{Ec.7.42})$$

G : Módulo de corte del elastómero

K_H : Rigidez de un aislador,

H_r : Altura del elastómero,

A : Área de un aislador.

Paso 6. Se asume un valor para el espesor de la capa de elastómero t_r , de acuerdo a la experiencia y las recomendaciones. Este valor es muy importante ya que controla la flexibilidad horizontal del aislador e influye en la rigidez vertical a través del factor de forma; valor igual entre HDR y LBR.

Paso 7. Se calcula el valor del factor de forma, S :

Sin núcleo de plomo:

$$S = \frac{D_e - D_i}{4 t_r} \quad (\text{Ec.7.43})$$

Con núcleo de plomo:

$$S = \frac{D^2 - D_p^2}{4 * D t_r} \quad (\text{Ec.7.44})$$

S : Factor de forma,

D_e, D : Diámetro exterior,

D_i : Diámetro interior,

t_r : Espesor de una capa de elastómero.

Paso 8. Con el valor del espesor de la capa de elastómero (t_r), y el valor del espesor total de la capa de elastómero (H_r), se determina el número de capas de elastómero, dada por:

$$n = \frac{H_r}{t_r} \quad (\text{Ec.7.45})$$

n : número de capas de elastómero.

Paso 9. Se propone un valor para las placas de acero t_s , y se verifica que la tensión de trabajo no sobrepase el valor admisible.

$$\sigma_s = 1.5 \frac{t_r}{t_s} \sigma_{AC} \quad (\text{Ec.7.46})$$

$$\sigma_{adm} = 0.75 f_y \quad (\text{Ec.7.47})$$

$$\sigma_s \leq 1.5 \sigma_{adm}$$

σ_s : Esfuerzo de trabajo de las placas de acero,

σ_{adm} : Esfuerzo admisible del acero,

σ_{AC} : Esfuerzo a compresión del elastómero,

f_y : esfuerzo de fluencia del acero.

Paso 10. Calcular la altura total del aislador, la cual es la suma de las capas de elastómero y las placas de acero que corresponde a la altura parcial del aislador H_t , más las placas de acero superior e inferior lo cual entrega la altura total del aislador H , es importante hacer notar que el valor de H_t también corresponderá a la altura del núcleo de plomo, H_{pb} :

$$Ht = H_{pb} = H_r + (n - 1)t_s \quad (\text{Ec.7.48})$$

$$H = h + 2t_{ext} \quad (\text{Ec.7.49})$$

H: Altura total del aislador,

Ht: Altura del aislador (placas de elastómero y acero),

Hr: espesor de las capas de neopreno,

ts: espesor de las capas de acero,

t_{ext}: espesor de las placas de anclaje,

H_{pb}: altura del núcleo de plomo.

Paso 11. Se calcula el valor de la rigidez del aislador con núcleo de plomo, la cual se considera un 15 % mayor que la rigidez del elastómero del aislador sin corazón de plomo, también se calcula la rigidez inicial y la rigidez efectiva del LBR:

$$K_p = f_1 * \frac{G A_r}{H_r} ; f_1 = 1.15 \quad (\text{Ec.7.50})$$

$$K_2 = (6.5 \text{ a } 10) K_p \quad (\text{Ec.7.51})$$

$$K_{eff} = K_p + \frac{Q}{D} \quad (\text{Ec.7.52})$$

K_p: Rigidez del aislador con núcleo de plomo,

f₁: factor de amplificación por el núcleo de plomo,

K₂: rigidez inicial del dispositivo,

K_{eff}: Rigidez efectiva,

G: Módulo de corte del elastómero,

H_r: Altura del elastómero,

A: Área de un aislador.

Paso 12. Se determina el valor del desplazamiento de fluencia y con esto se calcula la fuerza de fluencia del dispositivo:

$$D_y = \frac{Q}{J} ; J = (5.5 \text{ a } 9)K_p \quad (\text{Ec.7.53})$$

$$F_y = Q + K_p D_y \quad (\text{Ec.7.54})$$

D_y : Desplazamiento de fluencia,

Q: Resistencia característica,

J: Factor amplificador de K_p ,

F_y : Fuerza de fluencia del dispositivo,

K_p : Rigidez del aislador con núcleo de plomo.

Paso 13. Cálculo de la rigidez y frecuencia vertical, se debe verificar que la frecuencia vertical sea superior a 10Hz. La expresión para la rigidez vertical de un aislador con núcleo de plomo es:

$$K_v = \frac{E_c A}{H_r} + \frac{E_{pb} A_{pb}}{H_{pb}} \quad (\text{Ec.7.55})$$

$$E_c = \left[\frac{1}{6GS^2} + \frac{4}{3K} \right]^{-1} \quad (\text{Ec.7.56})$$

$$f_v = \sqrt{6} * S * f_H \quad (\text{Ec.7.57})$$

K_v : Rigidez vertical del dispositivo con núcleo de plomo,

E_c : Módulo de compresión del aislador (conjunto acero-elastómero),

E_{pb} : módulo de compresión del plomo,

A_{pb} : área del núcleo,

H_{pb} : altura del plomo,

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

G: Módulo de corte del elastómero,

S: Factor de forma,

K: Módulo de compresibilidad del elastómero (depende de la dureza del mismo),

f_h : Frecuencia vertical del aislador,

f_v : Frecuencia horizontal del aislador,

Otra manera de evaluar la frecuencia vertical del aislador es con la ecuación siguiente:

$$\frac{1}{F_v} = 2\pi * \sqrt{\frac{W}{K_H * g}} \quad (\text{Ec.7.58})$$

F_v : frecuencia vertical,

W: peso sísmico de la estructura,

K_H : Rigidez total de los aisladores,

g: aceleración de la gravedad.

Paso 14. . Después de haber realizado las iteraciones y modificaciones necesarias, se calcula el valor del período de diseño a partir de los datos obtenidos, para comprobar que no se haya alejado del cual se comenzó el diseño.

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{W}{K_H * g}} \quad (\text{Ec.7.59})$$

T: Período de diseño,

W: Peso sísmico de la estructura,

K_H : Rigidez total de los aisladores,

g: aceleración de la gravedad.

Paso 15. COMPROBACIÓN 1. Se calcula la deformación angular máxima, la cual debe estar bajo ciertos límites, para asegurar que el aislador soportará el caso de un sismo de gran magnitud. La deformación angular máxima está dada por la suma de las deformaciones angulares asociadas al corte, compresión y flexión del aislador, sin embargo esta última se puede despreciar por la poca influencia en comparación con las otras, las siguientes son las expresiones que controlan este estado:

$$\gamma_{max} = \gamma_s + \gamma_c + \gamma_b \approx \gamma_s + \gamma_c \quad (\text{Ec.7.59})$$

$$\gamma_s = \frac{D_M}{H_r} \quad (\text{Ec.7.60})$$

$$\gamma_c = 6S\varepsilon_c \quad (\text{Ec.7.61})$$

$$\varepsilon_c = \frac{P_{max}/A}{E_o(1+2KS^2)} \quad (\text{Ec.7.62})$$

$$\gamma_{maxpropuesta} = \frac{0.85 \varepsilon_b}{FS} \quad (\text{Ec.7.63})$$

$$\gamma_{max} \leq \gamma_{maxprop}$$

γ_{max} : Deformación máxima del aislador,

γ_s : Deformación por corte,

γ_c : Deformación por compresión,

γ_b : Deformación por flexión (despreciable),

DM: Desplazamiento máximo del aislador,

Hr: Espesor del elastómero,

S: Factor de forma,

ε_c : Deformación axial media de la capa de elastómero,

Pmax: Carga máxima,

A: Área del aislador,

Eo: Factor dado por el fabricante,

K: Valor que se considera entre 0.7 a 1.0;

$\gamma_{maxprop}$: Deformación máxima aceptable,

ε_b : Factor que por lo general se considera igual a 5.5

FS: Factor de seguridad mayor o igual que 1.5;

Si no cumple la condición se recomienda cambiar la altura del elastómero.

Paso 16. COMPROBACIÓN 2. Verificación al pandeo, esta condición de estabilidad tiene su fundamento en que bajo la combinación de corte y compresión se puede producir el pandeo por flexión, lo que produce que la ecuación para la rigidez horizontal no sea exacta, ya que el pandeo causa algunas inclinaciones de las placas internas, haciendo que las caras de los elementos individuales no sean paralelas, lo que cambia ligeramente el comportamiento de las láminas de elastómero. Por esto se calcula el valor de la carga crítica para la cual ocurre el fenómeno de pandeo y luego se verifica un factor de seguridad adecuado, que por lo general corresponde a 2; para la carga vertical máxima la secuencia de expresiones son:

$$P_{crit} = \frac{P_S}{2} \left[\sqrt{1 + 4 \frac{P_E}{P_S}} - 1 \right] \quad (\text{Ec.7.64})$$

$$P_S = (GA)_{eff} = GAs \quad (\text{Ec.7.65})$$

$$As = A \frac{Ht}{H_r} \quad (\text{Ec.7.66})$$

$$P_E = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{Ht^2} \quad (\text{Ec.7.67})$$

$$(EI)_{eff} = \frac{1}{3} * Ec * I \quad (\text{Ec.7.68})$$

$$I = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{De}{2} \right)^4 - \left(\frac{Di}{2} \right)^4 \right] \quad (\text{Ec.7.69})$$

$$\frac{P_{crit}}{P_{max}} \geq FS; FS \approx 2$$

P_{crit} : Carga crítica capaz de provocar pandeo del aislador;

P_{max} : Carga máxima actuante,

P_s : Rigidez de corte efectiva,

P_E : Carga de alabeo para una columna sin deformación,

G : Módulo de corte,

A_s : Área de corte efectiva,

H_t : Altura del aislador,

H_r : Altura de una capa de elastómero,

A : Área del aislador,

$(EI)_{eff}$: Rigidez a la inclinación,

I : Inercia del aislador,

FS : Factor de seguridad.

Si no cumple la condición se debe modificar el área del aislador o el espesor de las capas de elastómero.

Paso 17. COMPROBACIÓN 3. Verificación al volcamiento, en este caso se determina el máximo desplazamiento posible ante el cual se puede producir el volcamiento o “roll out”, esto es para una carga vertical mínima; la expresión para el desplazamiento es:

$$D_{max} = \frac{P_{min} * \phi}{P_{min} + K_H H}, \quad (\text{Ec.7.70})$$

$$FS = \frac{D_{max}}{D_D} \quad (Ec.7.71)$$

D_{max} : Desplazamiento máximo,

P_{min} : Carga mínima,

K_H : Rigidez horizontal,

H_t : Altura total del aislador,

FS: Factor de seguridad.

En cuanto al factor de seguridad por volcamiento se refiere, este puede adoptar valores dependiendo del tipo de conexión de las placas del aislador y la columna; si la conexión está dada por llaves de cortante el FS debe ser mayor o igual que 2, ya que en este caso es más factible que se produzca este fenómeno; en cambio si la conexión está dada por sistema de pernos el factor de seguridad debe adoptar valores mayores o iguales que uno; para los edificios motivo de este trabajo de graduación se utilizará sistema de pernos como conexión.

Paso 18. Se realiza un resumen de las dimensiones y propiedades del aislador. Finalmente puede elaborarse un gráfico.

7.5.2. DISEÑO DEL AISLADOR (LBR)

Se presenta a continuación el cálculo típico para el edificio Consulta Externa Dos; el diseño se expone paso a paso para un sistema combinado entre HDR en las columnas internas y LRB para las columnas perimetrales; los datos generales del diseño ya se presentaron en el numeral 7.3, a continuación se exponen los datos particulares para el aislador de este edificio.

a.- 28 aisladores LBR; 21 aisladores HDR

B.-Deformación de corte directa máxima, $\gamma_s = 150\%$,

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

c.- Deformación de corte admisible, $\gamma_{max} = 250\%$

d.- Amortiguamiento efectivo del sistema; para los LBR = 18%, para los HDR = 10%.

d.- Conexión con sistema de pernos,

e.- Esfuerzo admisible en compresión $\sigma_{AC} = 90 \text{ kg/cm}^2$,

f.- Diámetro interno inicial 15cm.

Paso 0.

$$\beta_T = \frac{21 * 0.10 + 28 * 0.18}{49}$$

$$\beta_T = 0.15 = 15\%$$

$$D_D = \frac{330 * 5/4}{1.35}$$

$$D_D = 306.60 \text{ mm}$$

$$D_{TD} = 1.1 * 306.60$$

$$D_{TD} = 337.26 \text{ mm}$$

$$D_M = \frac{330 * 1.20 * 5/4}{1.35}$$

$$D_M = 336.70 \text{ mm}$$

Paso 1. Calcular la rigidez horizontal total, de todo el sistema de aislación y luego de cada aislador en forma independiente dado por:

$$k_{Htot} = \frac{4\pi^2 * 3275.0}{2^2 * 9.81}$$

$$k_{Htot} = 3294.90 \text{ T/m}$$

$$k_H = \frac{3294.0}{49}$$

$$k_H = 67.24 \text{ T/m}$$

Paso 2. Con la tensión admisible de compresión y la carga máxima (Pmax), se establece el área del aislador (y con el área obtenemos el diámetro), que viene dado por:

$$A = \frac{533.71}{90}$$

$$A = 5930.11 \text{ cm}^2$$

$$De = 86.9 > 90.0\text{cm} \quad \rightarrow$$

$$A = 6185.01 \text{ cm}^2, \text{ con } De=90.0\text{cm}$$

Paso 3. Se establece un valor para la capacidad del aislador a cero deformaciones:

$$\frac{Q}{W} = 2\%$$

$$Q = 0.02 * 3275.0$$

$$Q = 2.34 \text{ T}$$

$$A_P = \frac{2.34 * 1000}{10}$$

$$A_P = 23.4 \text{ cm}^2$$

$$\frac{90}{6} < d_p < \frac{90}{3}$$

$$\emptyset_{pb} = 15 \text{ cm} \rightarrow A_{pb} = 176.71 \text{ cm}^2$$

Paso 4. Se calcula un valor para Hr,

$$H_r = \frac{30.56}{1.5}$$

$$H_r = 20.4 \text{ cm}$$

Paso 5. Se calcula el valor del módulo de corte G del elastómero:

$$G = \frac{67.24 * 10 * 20.4}{6185.0}$$

$$G = 2.21 \text{ kg/cm}^2$$

Paso 6. Se asume un valor para el espesor de la capa de elastómero, tr de acuerdo a la experiencia y las recomendaciones.

$$tr = 8 \text{ mm}$$

Paso 7. Se calcula el valor del factor de forma S,

CASO HDR:

$$S = \frac{90 - 15}{4 * 0.8}$$

$$S = 23.44$$

CASO LBR:

$$Spb = \frac{90^2 - 15^2}{4 * 90 * 0.8}$$

$$Spb = 27.34$$

Paso 8. Se determina el número de capas de elastómero:

$$n = \frac{20.40}{0.8}$$

$$n = 26 \text{ u}$$

Paso 9. Se propone un valor para las placas de acero ts:

$$ts = 3 \text{ mm}$$

$$\sigma_s = 1.5 * \frac{8}{3} * 90$$

$$\sigma_s = 360 \text{ kg cm}^2$$

$$\sigma_{adm} = 0.75 * 2400$$

$$\sigma_{adm} = 1800 \text{ kg/cm}^2$$

$360 \leq 1800$ en kg/cm^2 Cumple

Paso 10. Calcular la altura total del aislador,

$$Ht = 20.8 + (26 - 1) * 0.3$$

$$Ht = 28.30 \text{ cm}$$

$$H = 30.90 + 2 * 2.5$$

$$H = 33.30 \text{ cm}$$

Paso 11. Se calcula el valor de la rigidez del aislador con núcleo de plomo, la rigidez inicial y la rigidez efectiva del LBR:

$$K_p = 1.15 * \frac{2.21 \ 6185.0}{20.4}$$

$$K_p = 773.29 \text{ kg/cm}$$

$$K_{eff} = 773.29 + \frac{17671.46}{90}$$

$$K_{eff} = 194.95 \text{ kg/cm}$$

$$K2 = (8)733.29$$

$$K2 = 1559.63 \text{ kg/cm}$$

Paso 12. Se determina el valor del desplazamiento de fluencia:

$$D_y = \frac{17671.46}{7 * 733.29}$$

$$D_y = 3.26 \text{ cm}$$

$$F_y = 17671.46 + 773.29 * 3.26$$

$$F_y = 20195.95 \text{ kg} = 20.20 \text{ T}$$

Paso 13. Cálculo de la rigidez y frecuencia vertical,

CASO HDR:

$$E_c = \left[\frac{1}{6 * 7.62 * 23.44^2} + \frac{4}{3 * 20000} \right]^{-1}$$

$$E_c = 4909.97 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_v = \frac{4909.97 * 6185.0}{20.8}$$

$$K_v = 1460011.81 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$f_v = \sqrt{6} * 23.44 * 0.5$$

$$f_v = 28.70 \text{ hz}$$

$$\frac{1}{F_v} = 2\pi * \sqrt{\frac{3275.0}{1460011.81 * 21 * 9.81}}$$

$$F_v = 15.25 \text{ hz}$$

CASO LBR:

$$K_v = 1460011.81 + \frac{140000 * 176.71}{28.30}$$

$$K_v = 2334218.24 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$f_v = \sqrt{6} * 27.34 * 0.5$$

$$f_v = 33.49 \text{ hz}$$

$$\frac{1}{F_v} = 2\pi * \sqrt{\frac{3275.0}{2334218.24 * 28 * 9.81}}$$

$$F_v = 70.42 \text{ hz}$$

FRECUENCIA CARACTERÍSTICA:

$$f_{vc} = \frac{28.71 * 21 + 33.49 * 28}{49}$$

$$f_{vc} = 31.44 \text{ hz}$$

$$f_{vc} = \frac{15.25 * 21 + 70.42 * 28}{49}$$

$$f_{vc} = 46.78 \text{ hz}$$

Paso 14. Se calcula el valor del período de diseño:

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{3275}{67.24 * 49 * 9.81}}$$

$$T = 2.02 \text{ s}$$

Paso 15. COMPROBACIÓN 1.

$$\gamma_{max} = \gamma_s + \gamma_c + \gamma_b \approx \gamma_s + \gamma_c$$

$$\gamma_s = \frac{36.67}{20.8}$$

$$\gamma_s = 1.76$$

CASO HDR:

$$\varepsilon_c = \frac{533.71/6185.0}{15.32(1 + 2 * 1 * 23.44^2)}$$

$$\varepsilon_c = 0.005$$

$$\gamma_c = 6 * 23.44 * 0.005$$

$$\gamma_c = 0.72$$

CASO LBR:

$$\varepsilon_c = \frac{533.71/6185.0}{15.32(1 + 2 * 1 * 27.34^2)}$$

$$\varepsilon_c = 0.004$$

$$\gamma_c = 6 * 27.34 * 0.004$$

$$\gamma_c = 0.62$$

$$HDR: \gamma_{max} = 2.48 \quad LBR: \gamma_{max} = 2.38$$

$$\gamma_{max_{propuesto}} = \frac{0.85 * 5.5}{1.5}$$

$$\gamma_{max_{propuesto}} = 3.12$$

$$\gamma_{max} \leq \gamma_{max_{prop}}$$

$$2.48 \leq 3.12 \text{ ok (HDI)}; \quad 2.38 < 3.12 \text{ ok (LBR)}$$

Paso 16. COMPROBACIÓN 2.Verificación al pandeo,

PARA HDR:

$$A_s = 6185.0 * \frac{28.3}{20.8}$$

$$A_s = 8415.18 \text{ cm}^2$$

$$P_s = (GA)_{eff} = 2.21 * 8415.18$$

$$P_s = 18636.66 \text{ kg}$$

$$I = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{90}{2} \right)^4 - \left(\frac{15}{2} \right)^4 \right]$$

$$I = 3218138.29 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff} = \frac{1}{3} * 4909.97 * 3218138.29$$

$$(EI)_{eff} \approx 5266992586.8 \text{ kg.cm}^2$$

$$P_E = \frac{\pi^2 * 5266992586.8}{28.3^2}$$

$$P_E = 64906707.81 \text{ kg}$$

$$P_{crit} = \frac{18636.66}{2} \left[\sqrt{1 + 4 \frac{64906707.81}{18636.66}} - 1 \right]$$

$$P_{crit} = 1090559.31 \text{ kg}$$

$$\frac{P_{crit}}{P_{max}} = 2.0$$

$$\frac{P_{crit}}{P_{max}} = 2.0 \geq 2 \quad \text{ok}$$

PARA LBR:

$$A_s = (6185.0 + 176.71) * \frac{28.3}{20.8}$$

$$A_s = 8655.62 \text{ cm}^2$$

$$P_s = (GA)_{eff} = 2.21 * 8655.62$$

$$P_s = 19169.13 \text{ kg}$$

$$I = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{90}{2} \right)^4 \right]$$

$$I = 3220623.34 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff} = \frac{1}{3} * 4909.97 * 3220623.34$$

$$(EI)_{eff} = 5271059762.52 \text{ kg.cm}^2$$

$$P_E = \frac{\pi^2 * 5271059762.52}{28.3^2}$$

$$P_E = 64956828.82 \text{ kg}$$

$$P_{crit} = \frac{19169.13}{2} \left[\sqrt{1 + 4 \frac{64956828.82}{19169.13}} - 1 \right]$$

$$P_{crit} = 1106326.67 \text{ kg}$$

$$\frac{P_{crit}}{P_{max}} = 2.1$$

$$\frac{P_{crit}}{P_{max}} = 2.1 \geq 2 \quad \text{ok}$$

Paso 17. COMPROBACIÓN 3. Verificación al volcamiento,

$$D_{max} = \frac{61.50 * 1000 * 60}{61.50 * 1000 + 773.29 * 28.3}$$

$$D_{max} = 44.25$$

$$FS = \frac{44.25}{30.56}$$

$$FS = 1.45$$

$$1.45 > 1 \quad \text{ok}$$

Paso 18. Resumen de dimensiones y gráfico respectivo.

HDR:

a.- Diámetro exterior de 90 cm y diámetro interior de 15cm;

b.- Altura total de 33.3 cm, 20.8 cm de elastómero repartido en 26 capas y 7.5 cm de acero repartido en 25 capas, más dos placas de anclaje de 2.5 cm cada una.

c.- Módulo de corte del elastómero de 2.21 kg/cm²,

d.- Rigidez horizontal de 67.24 T/m, cada aislador.

LBR:

a.- Diámetro exterior de 90 cm y diámetro interior de plomo de 15cm;

b.- Altura total de 33.3 cm, 20.8 cm de elastómero repartido en 26 capas y 7.5 cm de acero repartido en 25 capas, más dos placas de anclaje de 2.5 cm cada una.

c.- Capacidad a cero deformación, $Q=17.67$ T

d.- Fuerza de fluencia $f_y= 20.20$ T,

e.- Módulo de corte del elastómero de 2.21 kg/cm²,

f.- Rigidez horizontal post-fluencia de 77.33 T/m, cada aislador.

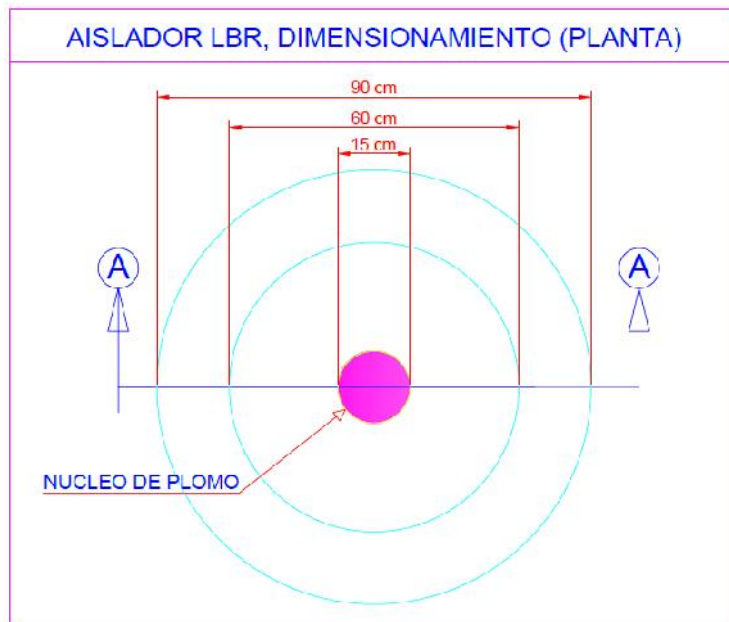


Fig. 7.4 Aislador LBR, Dimensionamiento planta

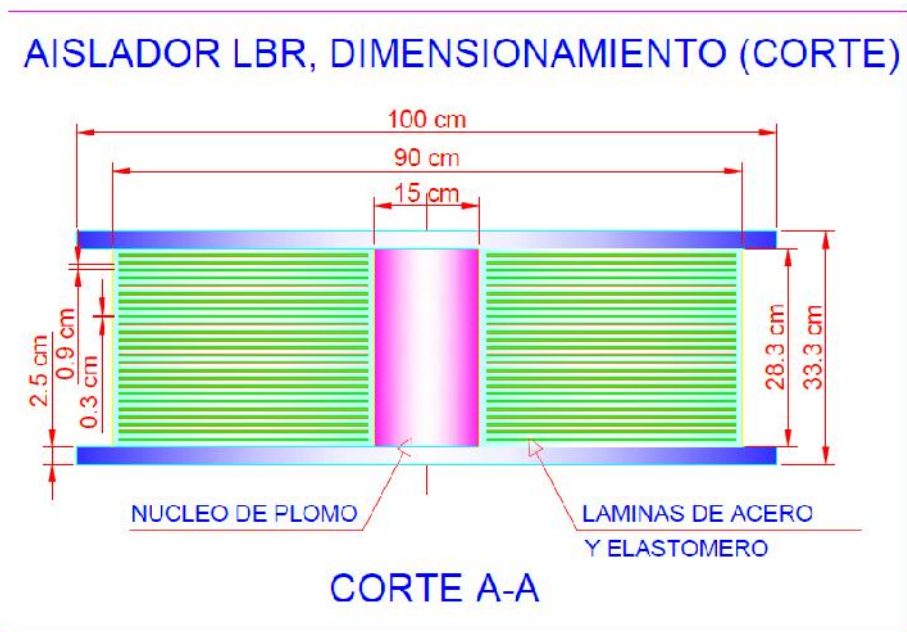


Fig. 7.5 Aislador LBR, Dimensionamiento corte

A continuación se expone una tabla de resumen con los valores que arroja el diseño para el sistema de aislación HDR y LBR, en los edificios restantes para que sea más fácil su comprensión y conclusiones.

EDIFICIO		De	Di=Dpb	ALTURAS (cm)				G	$\frac{K_H}{K_p}$ ó	Q	Fy
		(cm)	(cm)	ELASTÓMERO	ACERO	PLOMO	TOTAL	(kg/cm2)	(T/m)	(T)	(T)
GOBERNANTES	HDR	75,0	20,0	21,0	6,0	-	32,0	6,77	136,4	-	-
	LBR	75,0	20,0	21,0	6,0	27,0	32,0	6,77	156,9	31,4	35,9
CONSULTA EXTERNA UNO	HDR	55,0	15,0	21,0	8,7	-	34,7	7,33	77,3	-	-
	LBR	55,0	15,0	21,0	8,7	29,7	34,7	7,33	88,9	17,7	20,2
CONSULTA EXTERNA DOS	HDR	90,0	15,0	20,8	7,5	-	33,3	2,21	67,2	-	-
	LBR	90,0	15,0	20,8	7,5	28,3	33,3	2,21	88,9	17,7	20,2
HALL CENTRAL	HDR	110,0	20,0	20,4	5,5	-	30,9	2,82	129,9		
	LBR	110,0	20,0	20,4	5,5	25,9	30,9	2,82	149,4	31,4	35,9

Tabla 7.7 Resumen de los diseños de aisladores

El cálculo completo paso a paso de los aisladores se lo encuentra en los anexos correspondientes a este capítulo, no se muestra aquí por no caer en un cálculo rutinario.

7.6. ANÁLISIS BILINEAL

El aislador consta de una rigidez y amortiguamiento efectivo en el sistema de aislamiento. Así también se supone la rigidez lineal de la estructura soportada por los aisladores.

Si las condiciones anteriores se cumplen podemos encontrar una relación lineal ante una fuerza sísmica que afecte el sistema. Sin embargo, en la mayoría de los casos encontramos condiciones tales como; configuraciones estructurales complejas, suelo muy suave, cercanía a fallas activas, todos estos factores impiden que un análisis lineal represente con precisión el desempeño de la estructura.

Para superar estas limitaciones del análisis lineal, se ha incorporado las propiedades mecánicas de los aisladores en el procedimiento analítico lo cual nos lleva a un análisis no lineal.

La no linealidad en la estructura proviene de dos fuentes:

- a.-Deformación inelástica de la superestructura,
- b.- Altas deformaciones en el sistema de aislamiento,

Sin embargo debido a que la superestructura es mucho más rígida que el sistema de aislamiento, las deformaciones se dan principalmente en el sistema de aislamiento, y podemos decir que la superestructura tendrá una respuesta lineal. Con esta suposición, en la práctica de diseño solo se consideran las propiedades no lineales de los aisladores las cuales representan de manera bastante precisa el comportamiento de la estructura aislada.

El modelo bilineal es usado para expresar la relación entre la fuerza cortante y el desplazamiento lateral, puede definirse por tres parámetros los cuales podemos identificar también en la Fig.7.6.:

- 1.- Rigidez Elástica
2. Rigidez Pos-afluencia
3. Fuerza Característica

Estos tres parámetros reflejan adecuadamente las características mecánicas de los aisladores y suministran una estimación satisfactoria del comportamiento no lineal de un aislador. Se expone a continuación el esquema del modelo:

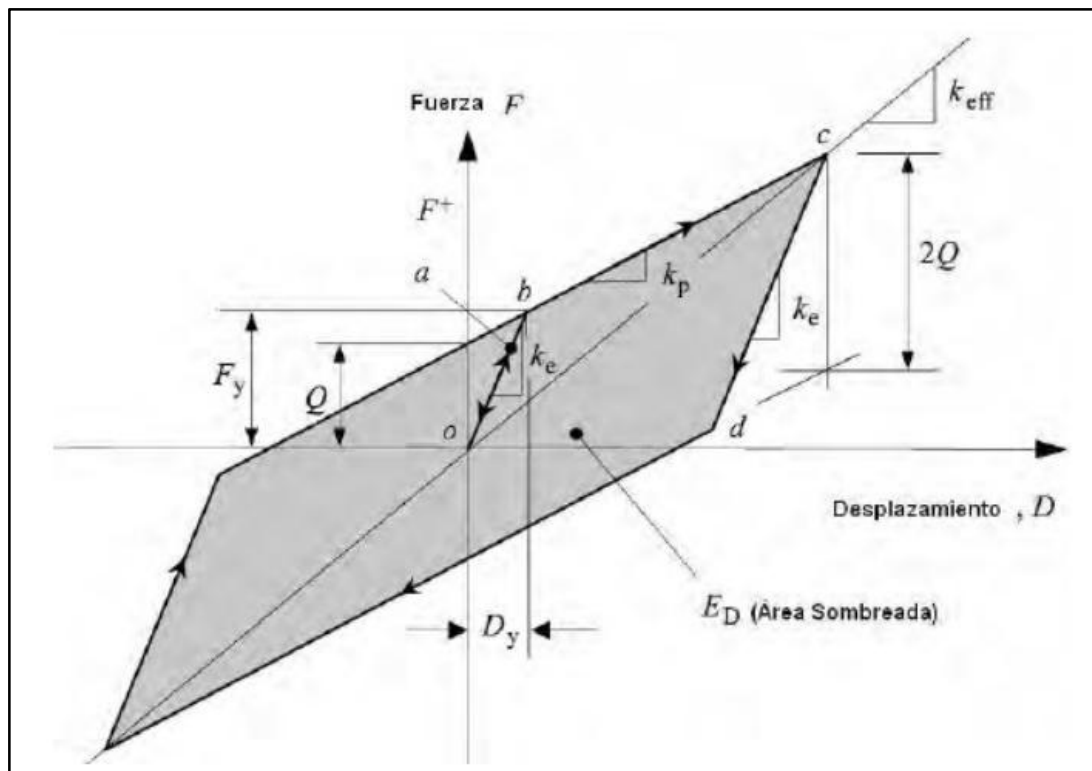


Fig. 7.6 Análisis bilineal

Breve descripción; cuando una fuerza cortante se comienza a aplicar al aislador, se da una relación lineal entre el cortante y el desplazamiento lateral, expresada por k_1 , una vez que el cortante llega al punto b comienza la fluencia en el aislador, más allá del punto b se dan grandes desplazamientos con incrementos moderados en el cortante, su rigidez está definida como rigidez post-fluencia. Si la descarga comienza en el punto c , la trayectoria de descarga bc es la previa sino sigue la trayectoria ad y tiene la misma rigidez inicial de ab . El valor de cortante de ad es igual a $2F_y$, F_y es la fuerza de fluencia. Más allá del punto d , la trayectoria de descarga es paralela a bc con la misma magnitud de la rigidez de post-fluencia.

7.6.1. PARÁMETROS ADICIONALES

Para complementar el diseño de los aisladores tanto HDR como HDR + LBR falta calcular los siguientes parámetros:

HDR:

Del diseño tenemos los datos siguientes:

$$K_{eff} = 136.40 \text{ T/m}$$

$$DD = 0.344 \text{ m}$$

Además podemos establecer:

$$D_y = 0.1 * H_r = 0.1 * 0.234$$

$$D_y = 0.0234 \text{ m con } \xi = 0.07$$

Establecemos la energía disipada:

$$W_D = 2\pi * K_e * D^2 * \xi$$

$$W_D = 2 * 136.40 * 0.344^2 * 0.07$$

$$W_D = 7.10 \text{ T.m}$$

Obtenemos además la capacidad a cero deformaciones:

$$Q = \frac{W_D}{4(D - Dy)}$$

$$Q = \frac{7.10}{4(0.344 - 0.0234)}$$

$$Q = 5.54 \text{ T}$$

Calculamos las rigideces complementarias:

$$K2 = Ke - \frac{Q}{D}$$

$$K2 = 136.40 - 5.54/0.334$$

$$K2 = 120.31 \text{ T/m}$$

$$K1 = \frac{Q}{Dy} + K2$$

$$K1 = \frac{5.54}{0.0234} + 120.31$$

$$K1 = 356.88 \text{ T/m}$$

$$K1 = 3K2$$

La fuerza de fluencia es:

$$Fy = Q + K2Dy$$

$$Fy = 5.54 + 120.31 * 0.0234$$

$$Fy = 8.35 \text{ T}$$

Finalmente la frecuencia angular y el amortiguamiento efectivo son:

$$\omega = 2\pi/T$$

$$\omega = (2 * 3.1416)/2.02$$

$$\omega = 3.11 \text{ rad/s}$$

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

$$C = \frac{W_D}{\pi D^2 * \omega}$$

$$C = \frac{7.10}{3.1416 * 0.344^2 * 3.11}$$

$$C = 2.11 \frac{T}{m} * s$$

El cálculo típico de los parámetros anteriores ha sido expuesto para el edificio Gobernantes; para las demás estructuras se tiene la siguiente tabla de resumen:

PARAMETROS ADICIONALES									
EDIFICIO	Dy	x	WD	Q	K2	K1	Fy	w	C
	(m)		(T.m)	(T)	(T/m)	(T/m)	(T/m)	(rad/s)	(T/m *s)
GOBERNANTES	0,023	0,07	7,10	5,54	120,31	356,88	8,35	3,11	6,14
CONSULTA EXTERNA UNO	0,023	0,07	4,03	3,14	68,21	202,35	4,74	3,11	3,48
CONSULTA EXTERNA DOS	0,023	0,07	3,50	2,73	59,32	177,35	4,10	3,13	3,01
HALL CENTRAL	0,024	0,07	6,62	5,17	112,10	329,13	7,83	3,08	5,77

Tabla 7.8 Tabla de resumen

Para HDR + LBR:

Del diseño tenemos los datos siguientes:

$$K_{eff} = 67.24 \text{ T/m}$$

$$DD = 0.3056 \text{ m}$$

Además podemos establecer:

$$Dy = 0.1 * Hr = 0.1 * 0.208$$

$$Dy = 0.021 \text{ m} \text{ Con } \xi = 0.07$$

Establecemos la energía disipada:

$$W_D = 2\pi * Ke * D^2 * \xi$$

$$W_D = 2 * 67.24 * 0.306^2 * 0.07$$

$$W_D = 2.76 \text{ T.m}$$

Obtenemos además la capacidad a cero deformaciones:

$$Q = \frac{W_D}{4(D - Dy)}$$

$$Q = \frac{2.76}{4(0.306 - 0.021)}$$

$$Q = 2.42 \text{ T}$$

Calculamos las rigideces complementarias:

$$K_2 = K_e - \frac{Q}{D}$$

$$K_2 = 67.24 - 2.42/0.306$$

$$K_2 = 59.31 \text{ T/m}$$

$$K_1 = \frac{Q}{Dy} + K_2$$

$$K_1 = \frac{2.42}{0.021} + 59.31$$

$$K_1 = 175.86 \text{ T/m}$$

$$K_1 = 3K_2$$

La fuerza de fluencia es:

$$F_y = Q + K_2 D y$$

$$F_y = 2.42 + 59.31 * 0.021$$

$$F_y = 3.66 \text{ T}$$

Finalmente la frecuencia angular y el amortiguamiento efectivo son:

$$\omega = 2\pi/T$$

$$\omega = (2 * 3.1416)/2.02$$

$$\omega = 3.11 \text{ rad/s}$$

Ingeniería Civil

$$C = \frac{W_D}{\pi D^2 * \omega}$$

$$C = \frac{2.42}{3.1416 * 0.306^2 * 3.11}$$

$$C = 3.03 \frac{T}{m} * s$$

Del diseño tenemos para el LBR:

$$K_{eff} = 67.24 T/m$$

$$DD = 0.3056 m$$

$$K_2 = 19.50 T/m$$

$$Dy = 3.26 cm$$

$$Q_{pb} = 17.67 T$$

$$F_y = 20.20 T$$

$$K_1 = 8 * K_2$$

Podemos establecer la energía disipada, la cual está compuesta por la contribución de la goma más la del plomo, la simplicidad de la suma algebraica es debida que se considera que la goma y el núcleo de plomo actúa en forma paralela, por lo que tenemos:

$$W_{D_{pb}} = W_{D_{elastomero}} + 4 * Q_{pb} * DD$$

$$W_{D_{pb}} = 2.76 + 4 * 17.67 * 0.3056$$

$$W_{D_{pb}} = 24.36 T.m$$

Finalmente el amortiguamiento total del sistema LRB es:

$$C = \frac{W_{D_{pb}}}{\pi D^2 * \omega}$$

$$C = \frac{24.36}{3.1416 * 0.306^2 * 3.11}$$

$$C = 26.71 \frac{T}{m} * s$$

EL cálculo típico antes expuesto está diseñado para el edificio Consulta Externa Dos, para el resto de edificaciones se presenta una tabla de resumen del cálculo:

PARAMETROS ADICIONALES											
EDIFICIO	D_y	<1	WD	Q	$K2$	$K1$	F_y	$\check{S}1$	C	WD_{pb}	C_{pb}
	(m)		(T.m)	(T)	(T/m)	(T/m)	(T/m)	(rad/s)	(T/m *s)	(T.m)	(T/m *s)
GOBERNANTES	0,021	0,07	5,60	4,92	120,29	354,62	7,45	3,09	6,17	44,00	48,48
CONSULTA EXTERNA UNO	0,021	0,07	3,32	2,85	68,22	203,89	4,28	3,13	3,46	25,41	26,47
CONSULTA EXTERNA DOS	0,021	0,07	2,76	2,42	59,31	175,86	3,66	3,11	3,03	24,36	26,71
HALL CENTRAL	0,020	0,07	5,11	4,58	114,60	329,13	6,92	3,10	5,86	42,67	48,96

Tabla 7.9 Parámetros Adicionales

Una vez que se ha completado los diseños de los aisladores HDR y LBR para las edificaciones en estudio, se analizará la variación de los parámetros de diseño, deseamos ver como varia la frecuencia, altura, período, número de capas, altura de elastómero y total, factores de seguridad de deformación, pandeo y volcamiento.

Para este efecto se ha mantenido constante el espesor de las láminas de acero y las propiedades mecánicas del elastómero, se hará variar el espesor de las capas de elastómero; con esto se obtiene una serie de diagramas que nos dan una idea muy aproximada de como varían los parámetro de diseño.

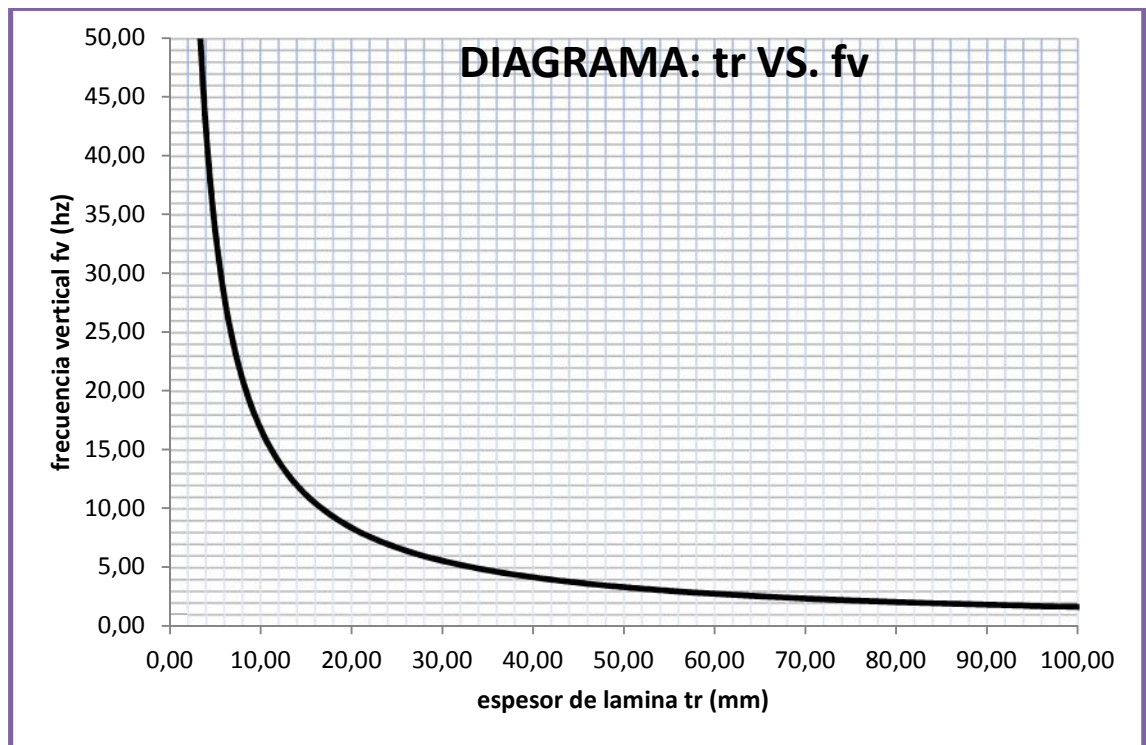


Fig.7.7 Diagrama tr vs Fv

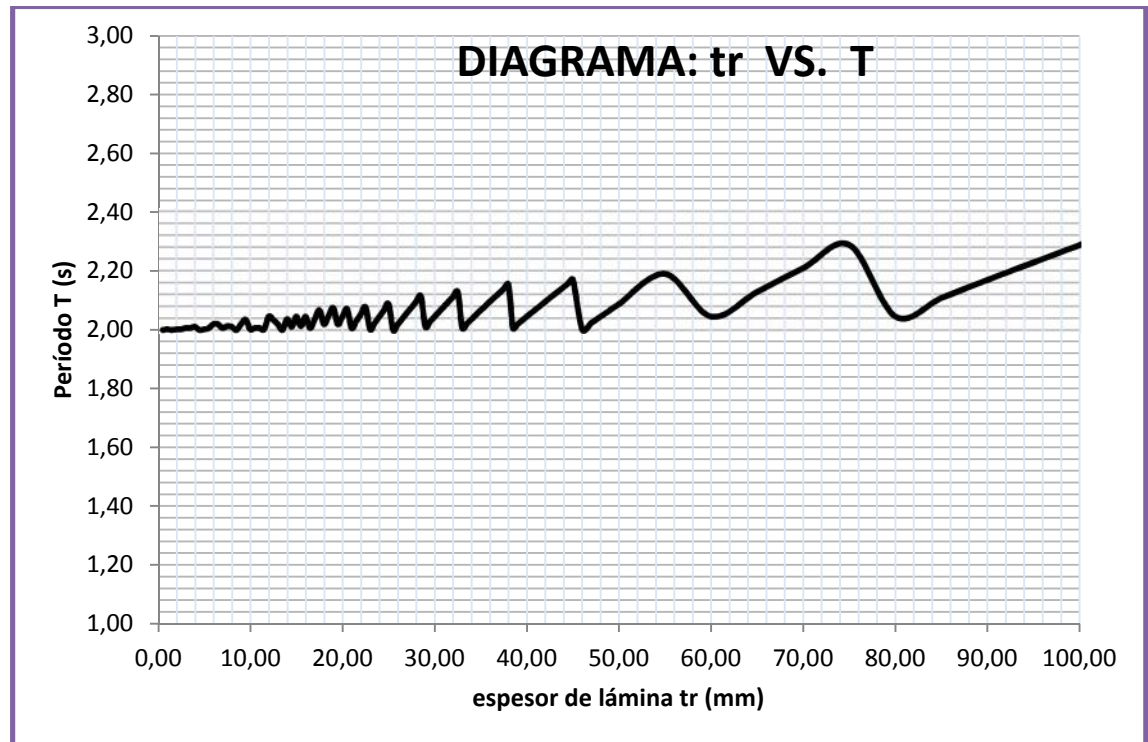


Fig.7.8 Diagrama tr vs T

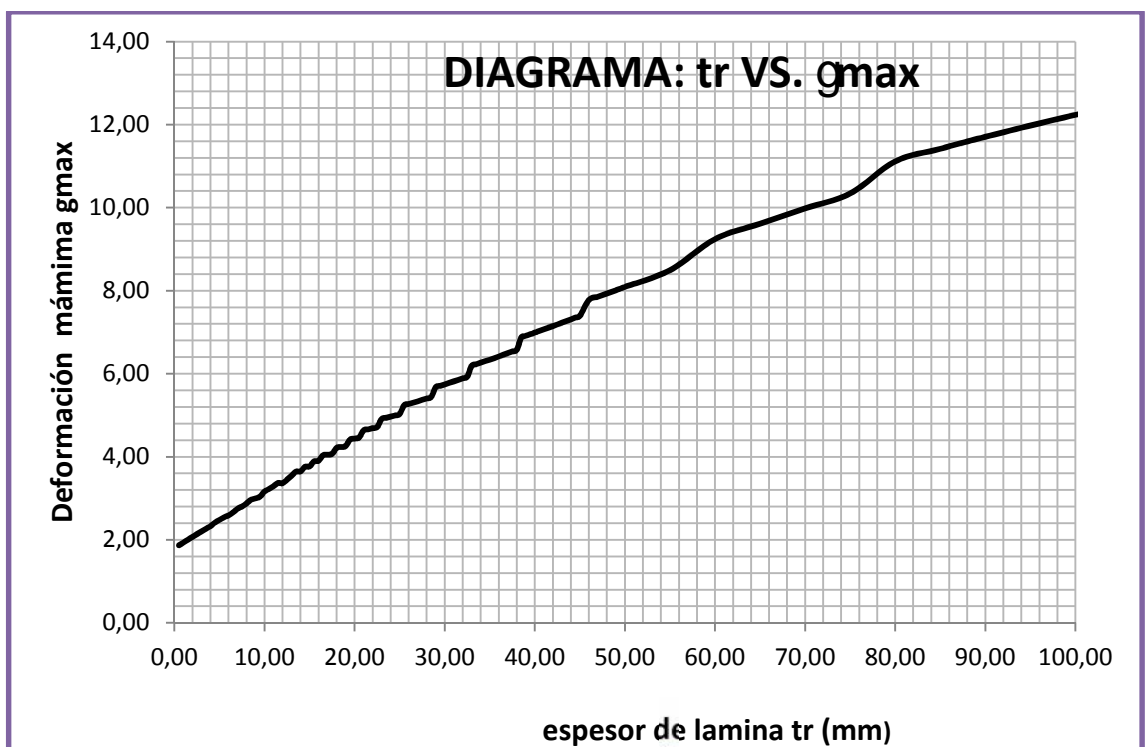


Fig.7.9 Diagrama tr vs γ max

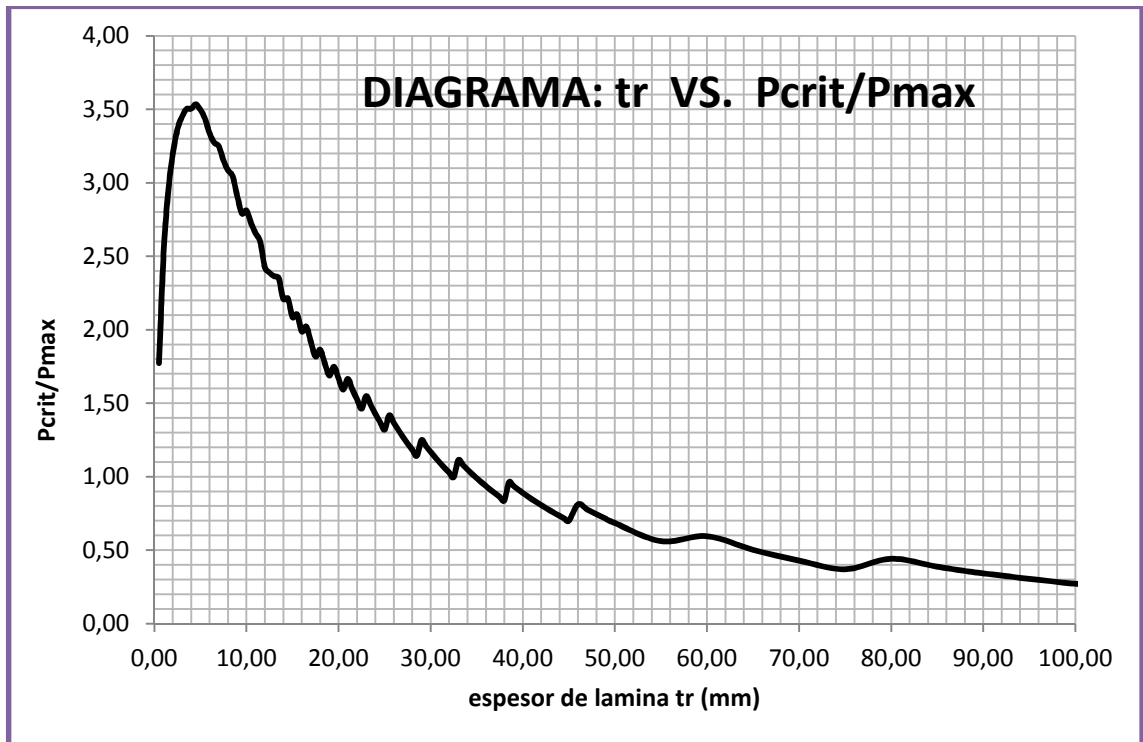


Fig. 7.10 Diagrama tr vs Pcrit/Pmax

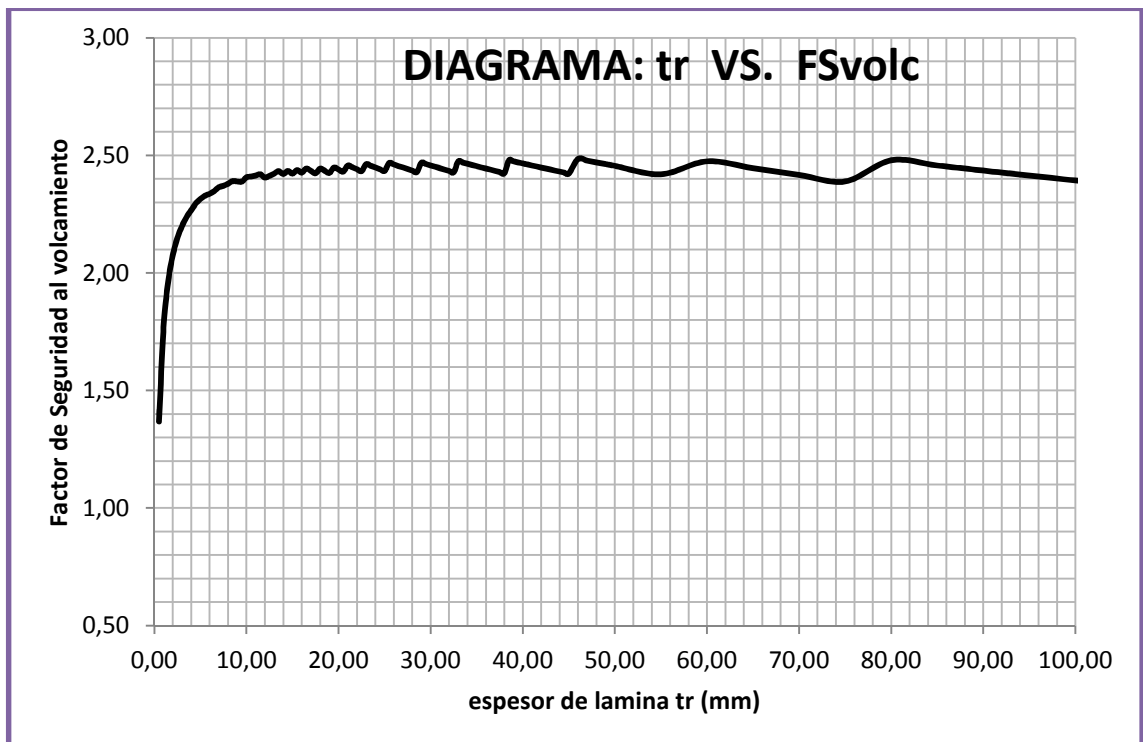


Fig.7.11 Diagrama tr vs FSvolc

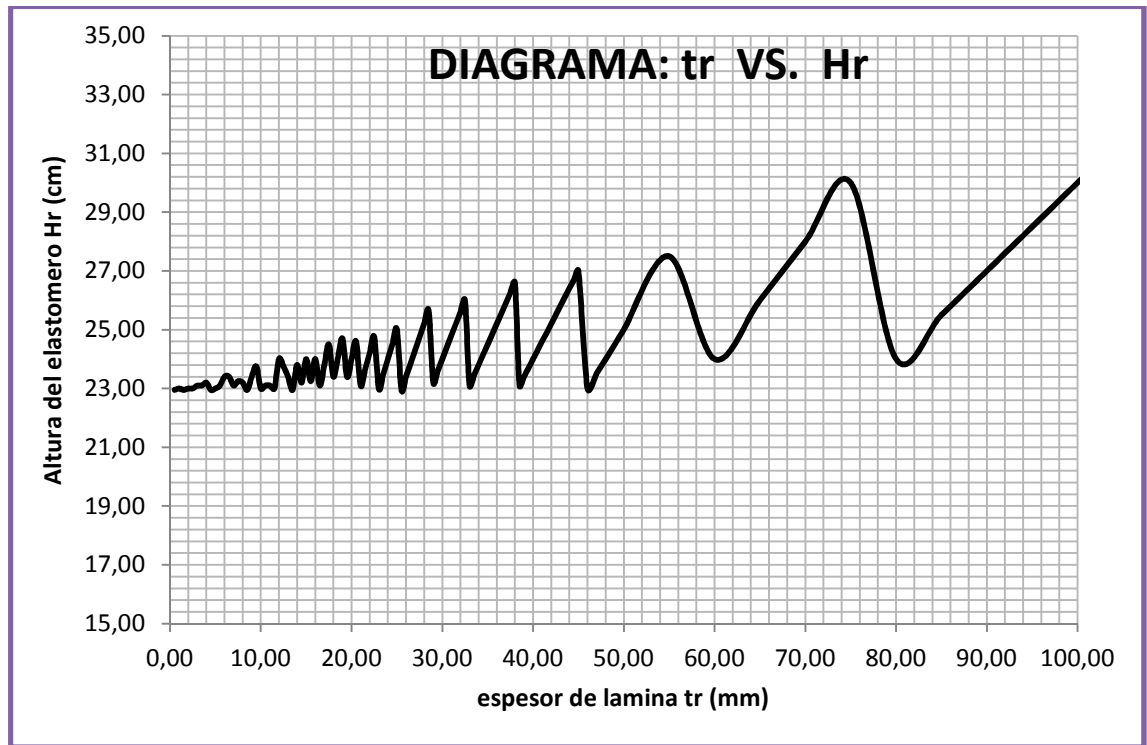


Fig. 7.12 Diagrama tr vs Hr

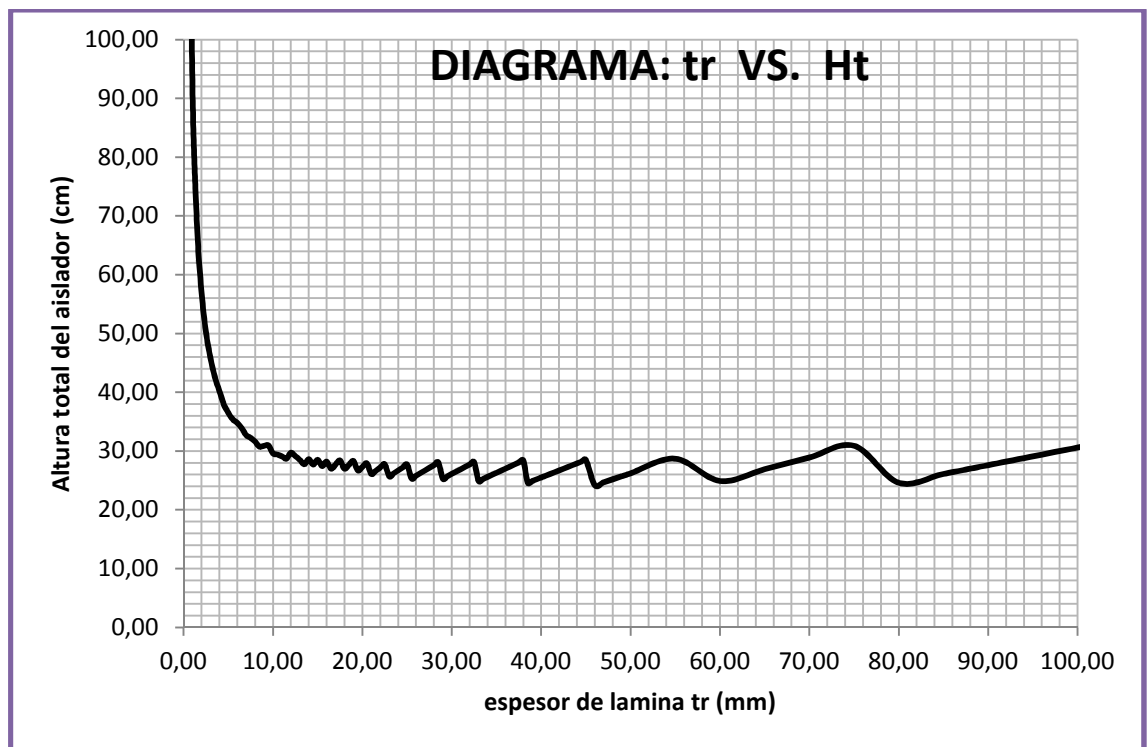


Fig. 7.13 Diagrama tr vs Ht

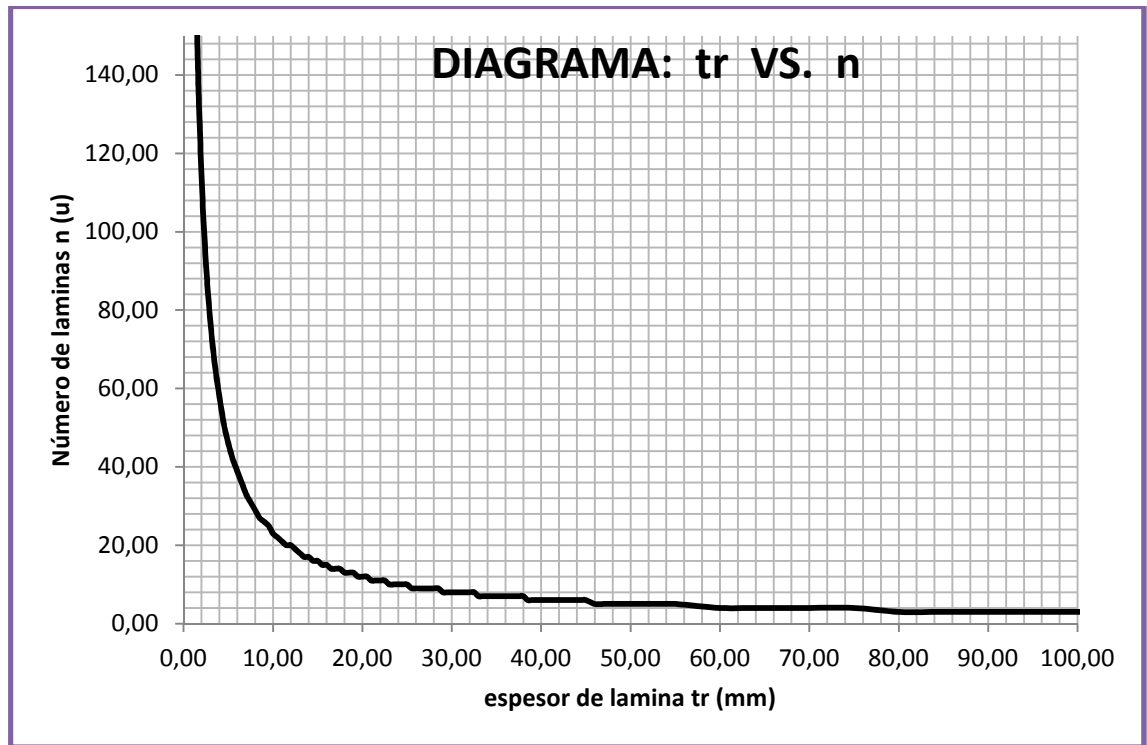


Fig. 7.14 Diagrama tr vs N

CAPÍTULO VIII

8.0. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA AISLADA

Después de diseñar los aisladores se procede a modelar la estructura con los dos tipos de aisladores, un primer modelo consta de todos los aisladores basales tipo HDR y un segundo modelo estará con aisladores perimetrales de tipo LBR y los centrales de tipo HDR.

Luego de los modelos, se verificarán los diagramas de momentos, cortantes basales, desplazamientos de los sistemas y finalmente se comparan los parámetros con los modelos convencionales. Cabe notar que este último procedimiento se lo realizará solamente para el edificio Gobernantes, y que se deja cabida para este análisis de las demás estructuras.

8.1. ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL (ADNL)

La realización de un análisis dinámico no lineal a las edificaciones tiene múltiples e importantes razones, respecto a la aplicación de éste procedimiento ya se ha dejado entrever en los capítulos anteriores que el ADNL corresponde a un análisis que debe ser aplicado a la estructura ya sea por diseño o verificación del comportamiento, además es uno de los propuestos por la norma NEC-11 y la NCH-2745 en las cuales se basa el análisis del edificio Gobernantes, este análisis además se puede aplicar a todas las estructuras con algún tipo de aislación o amortiguación sísmica, sin importar las restricciones referentes al sistema estructural, de aislación o amortiguamiento que se presentan.

ANÁLISIS PASO A PASO EN EL TIEMPO

Este análisis se debe realizar con al menos tres pares de componentes horizontales de registros que sean apropiados, se entiende con esto que posean magnitudes, distancia a la falla fuentes de mecanismo del sismo y tipo de suelo, que sean consistentes con el sismo de diseño, estos pares de registros se deben aplicar simultáneamente, siendo el desplazamiento máximo del sistema de aislación la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales para cada instante. Dada esta información como precedente establecemos que en nuestro caso es enrevesado ejecutarlo, puesto que no se posee de la información requerida para dicho análisis, de cualquier forma se realizará un análisis de respuesta espectral que cumpla con los siguientes objetivos:

- a.- Verificar el diseño de los dos sistemas de aislación diseñados en el capítulo siete.
- b.- La selección de la alternativa más razonable de aislación, esto quiere decir, cuál de los dos sistemas entrega el mejor comportamiento a través de la comparación de parámetros de interés en la respuesta estructural.
- c.- Comparar el comportamiento de la estructura convencional versus la estructura aislada bajo los mismos parámetros mencionados, para ver la efectividad real de incluir un sistema de aislación en el edificio, y si esto presenta verdaderas conveniencias desde el punto de vista del comportamiento estructural y el diseño.
- d.- Conocer cómo se comporta la estructura bajo la acción de registros sísmicos, a partir del espectro de respuesta para el sistema de aislación del edificio.

En la comparación se tomarán en cuenta los siguientes parámetros:

- Para el comportamiento estructural:

- 1.- Desplazamiento del sistema de aislación,
- 2.- Desplazamiento relativo de la superestructura,

3.- Aceleración espectral de respuesta,

4.- Corte basal de la superestructura;

- Para el diseño de la estructura:

1.- Diagramas de momentos,

2.- Diagramas de cortes, axiales,

3.- Cuantía de acero de diseño arrojado por el programa.

Se han escogido estos parámetros porque se considera que son los que más caracterizan y representan la respuesta de la estructura, y porque están directamente relacionados con el nivel de daño y supervivencia de la estructura.

8.2. DEFINICIÓN DE REGISTROS (ACELEROGRAMAS)

Los acelerogramas son diagramas que relacionan la magnitud de las aceleraciones, que se van registrando en el suelo con el tiempo transcurrido desde el inicio del evento.

La práctica común para el análisis en el dominio temporal de estructuras sometidas a acciones sísmicas, utiliza como entrada los registros de sismos cercanos al lugar de interés. No obstante esta información no siempre está disponible, esto induce a una alta incertidumbre en la respuesta estructural, debido a que tales registros no cubren todos los máximos en la banda de frecuencias de interés. Así mismo las aceleraciones registradas, no suelen cumplir los rangos de amplitudes y frecuencias establecidos en los códigos de diseño.

Si bien es cierto el análisis paso a paso en el tiempo de una estructura es más real que el espectral o el estático, este es muy sensible, es decir, si se introduce mal un valor, los resultados pueden cambiar drásticamente hasta

el punto de ser ilógicos, generando gran incertidumbre en los resultados obtenidos.

Por lo anteriormente expuesto, el presente estudio considerará que la mejor alternativa para el análisis de la estructura aislada es el espectral (espectro de respuesta de nuestro edificio), analizado en el capítulo cinco y dado como opción válida para el análisis de estructuras aisladas en la NCH 2745.

8.3. RESULTADOS DEL ADNL APLICADO AL EDIFICIO GOBERNANTES

Esta sección se puede dividir en dos partes; la primera consiste en aplicar el espectro de respuesta de la estructura con los dos tipos de sistemas de aislación, para realizar la verificación de que cada sistema funciona como se desea y la selección del que presente un mejor comportamiento, finalmente se realiza la comparación del edificio Gobernantes convencional con el aislado.

8.3.1. VERIFICACIÓN Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE AISLACIÓN

Como primer paso se verificará que los sistemas de aislación produzcan el periodo deseado, y se mostrarán los modos de vibración que los modelos arrojan.

PRIMER CASO: SISTEMA DE AISLACIÓN HDR

PARTICIPACIÓN MODAL (GOBERNANTES), ANÁLISIS AISLADO HDR						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	2,146	0,013	97,741	85,104	0,011	1,415
2	2,109	99,308	0,022	0,018	84,930	0,081
3	2,036	0,090	1,404	0,976	0,080	97,954
4	0,427	0,000	0,783	13,845	0,000	0,000
5	0,387	0,544	0,000	0,000	14,853	0,002

6	0,374	0,003	0,000	0,009	0,058	0,509
7	0,184	0,000	0,045	0,007	0,000	0,001
8	0,175	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,168	0,000	0,001	0,000	0,000	0,034
10	0,108	0,000	0,004	0,040	0,000	0,000
11	0,102	0,004	0,000	0,000	0,069	0,000
12	0,096	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003

Tabla 8.1 Primer caso Sistema aislador, Gobernantes HDR

En la tabla anterior vemos que el período fundamental de la estructura aislada con el sistema HDR corresponde a 2.15 segundos, lo que es semejante al período objetivo, flexibilizando notablemente la estructura, de la participación modal observamos que el modo primero ocurre en X, debido a que U_x es mayor que U_y y R_z ; podemos comprobarlo además con los coeficientes R_x , R_y y R_z . El segundo período más importante es de 2.11 seg y tiene mayor participación en Y; finalmente el tercer período es de 2.04 seg y tiene una mayor participación modal en Z, lo que indica que es un modo torsional, se puede observar que los períodos aislados corresponden a los

tres primeros, y que éstos corresponden a casi la totalidad de la respuesta sísmica, ya que los modos posteriores no tienen importancia relevante en el movimiento de la estructura, además es importante destacar que los dos períodos traslacionales son muy similares, lo cual es muy característico de estructuras que cuentan con un sistema de aislación, siendo su relación de 1.02 y que el período torsional solo difiere muy levemente de los períodos traslacionales siendo su relación 1.04 que es cercana a 1, que es lo ideal, esto refleja en general una buena distribución en planta de los aisladores, y que además ningún modo traslacional posee colaboración torsional lo que es aún mejor.

A continuación se muestra la estructura con los tres modos de vibración, para que los desplazamientos sean más vistosos se escogerá un pórtico por cada sentido de la estructura

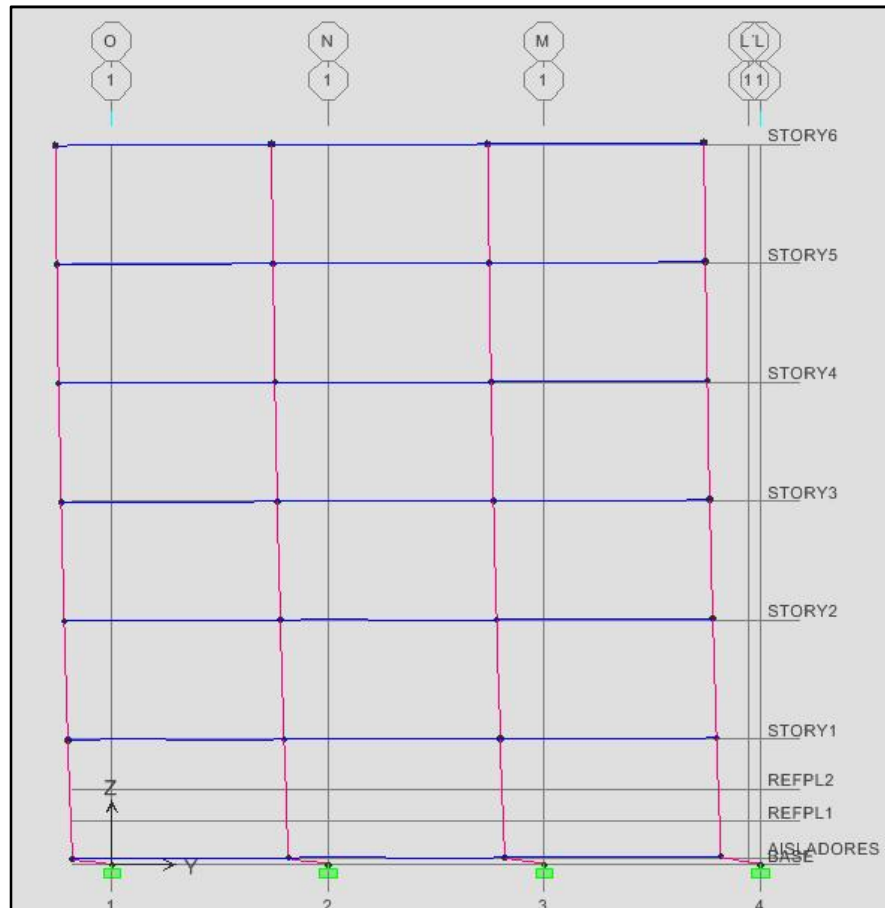


Fig. 8.1. Modo 1 Pórtico 1, Sentido y, Gobernantes HDR

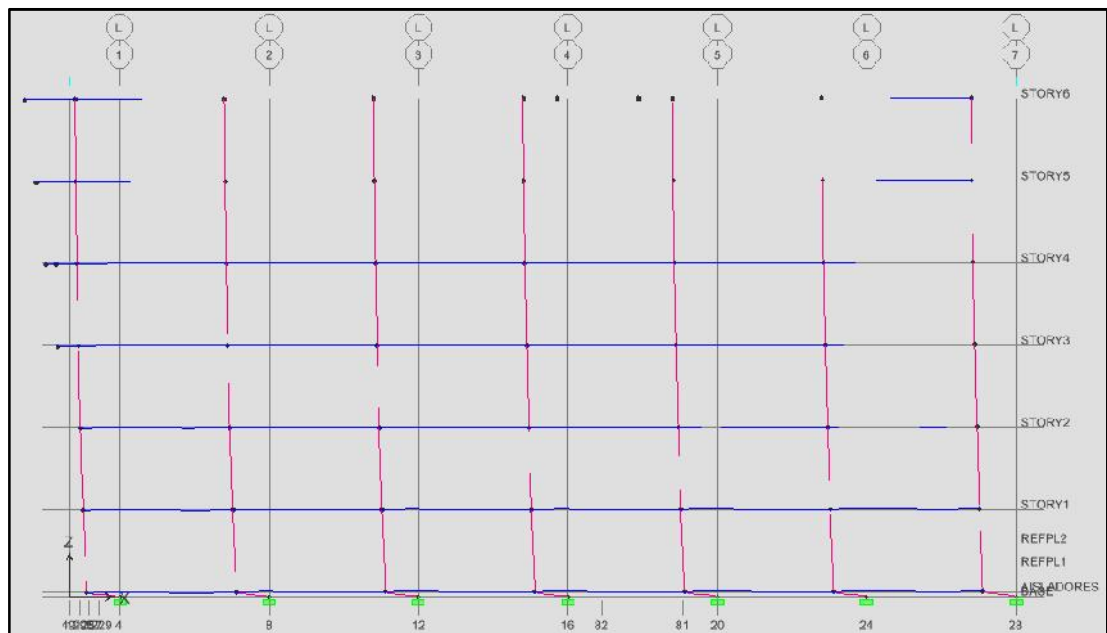


Fig. 8.2. Modo 2 Pórtico I, Sentido x, Gobernantes HDR

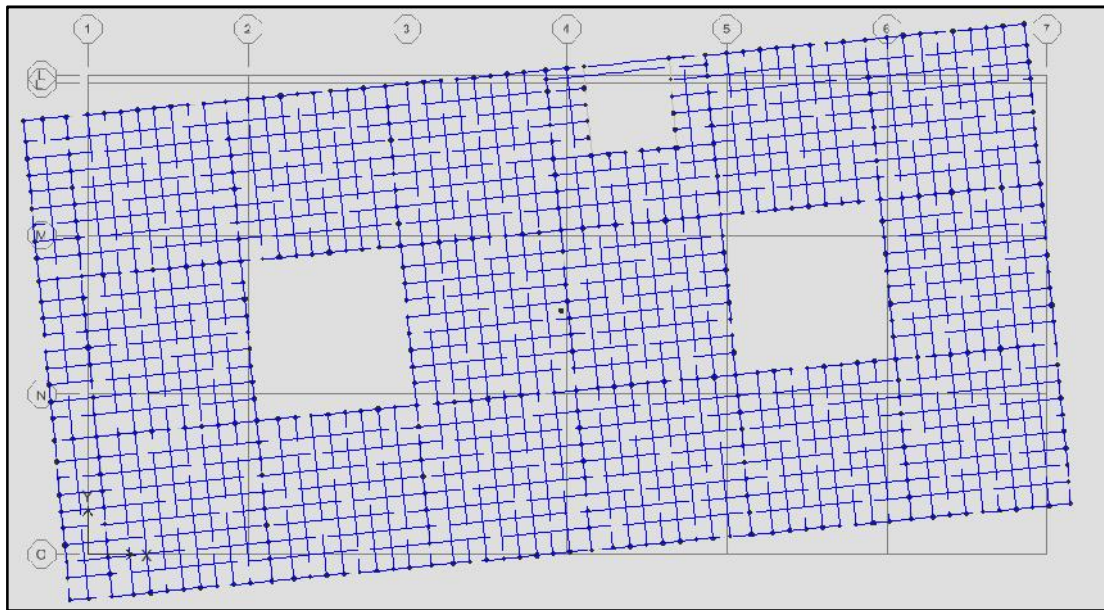


Fig. 8.3. Modo 3 planta, Gobernantes HDR

SEGUNDO CASO: SISTEMA DE AISLACIÓN HDR + LBR

PARTICIPACIÓN MODAL (GOBERNANTES), ANÁLISIS AISLADO (HDR + LBR)						
Modo	Período	UX	UY	RX	RY	RZ
1	2,102	0,012	99,017	85,497	0,010	0,258
2	2,079	99,421	0,013	0,011	84,891	0,006
3	1,865	0,007	0,258	0,126	0,007	98,995
4	0,407	0,000	0,658	14,289	0,000	0,001
5	0,378	0,512	0,000	0,000	14,957	0,003
6	0,364	0,002	0,000	0,015	0,056	0,678
7	0,184	0,000	0,047	0,009	0,000	0,002
8	0,175	0,041	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,167	0,000	0,001	0,000	0,000	0,052
10	0,107	0,000	0,005	0,051	0,000	0,000
11	0,102	0,004	0,000	0,000	0,078	0,000
12	0,096	0,000	0,000	0,002	0,000	0,005

Tabla 8.2 Segundo caso; Sistema aislador, Gobernantes HDR+LBR

En la tabla precedente vemos que el período fundamental de la estructura con sistema de aislación mixto, conformado por HDR más LRB es a 2.10 segundos, lo que corresponde al período objetivo. De la participación modal observamos que el primer modo ocurre en X; el segundo período más

importante es de 2.08 seg y tiene mayor participación en Y; finalmente el tercer período es de 1,87 seg y tiene una mayor participación modal en Z, lo que indica que es un modo torsional; nuevamente los períodos aislados corresponden a los tres primeros en que éstos corresponden a la casi totalidad de la respuesta, ya que los modos sub-siguientes no tienen mucha relevancia en el movimiento de la estructura, los dos periodos traslacionales son similares, siendo su relación 1.01 y que el período torsional difiere levemente de los períodos traslacionales siendo su relación 1.12 que es cercana a 1, que es lo ideal, esto refleja una buena distribución en planta de los aisladores, los coeficientes de los modos traslacionales son muy semejantes que en el caso HDR; con la inclusión de los aisladores periféricos LBR, se logró disminuir las rotaciones en los dos primeros modos hasta casi la nulidad de las mismas, esto confirma el posicionamiento acertado de los aisladores LBR.

En las figuras siguientes se mostrarán los modos de vibración de la estructura con este sistema de aislamiento (HDR + LBR), se presentan en elevación por pórticos para mejorar su visualización:

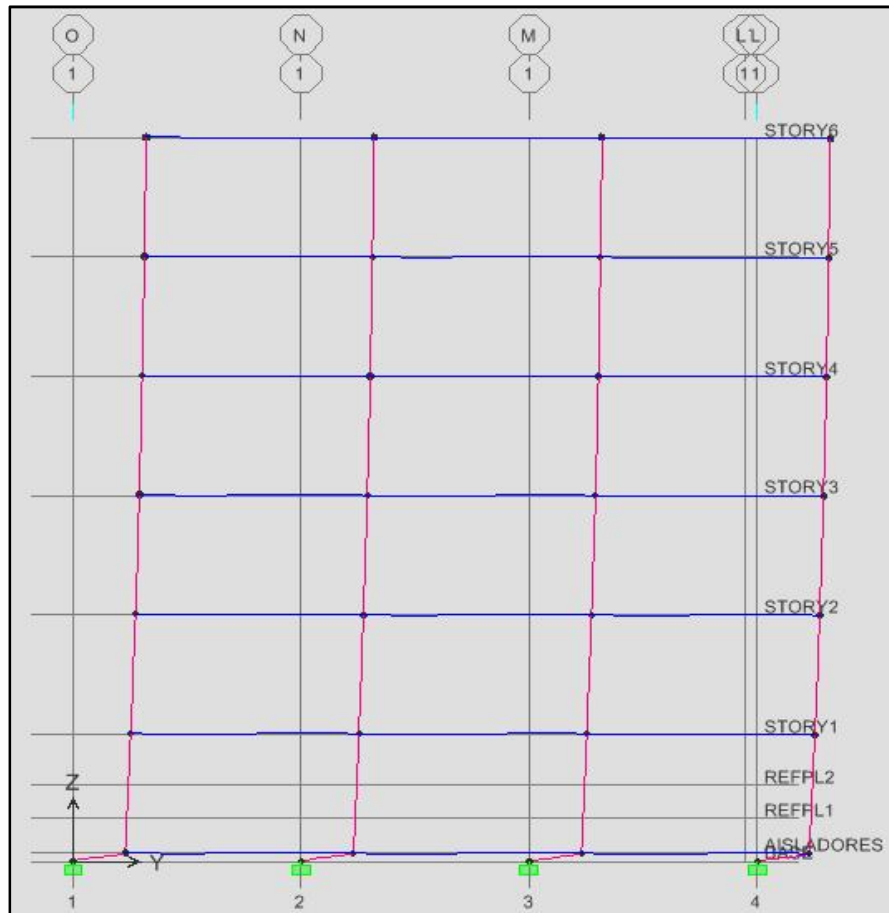


Fig. 8.4. Modo 1 Pórtico 1, Sentido y, Gobernantes HDR+LBR

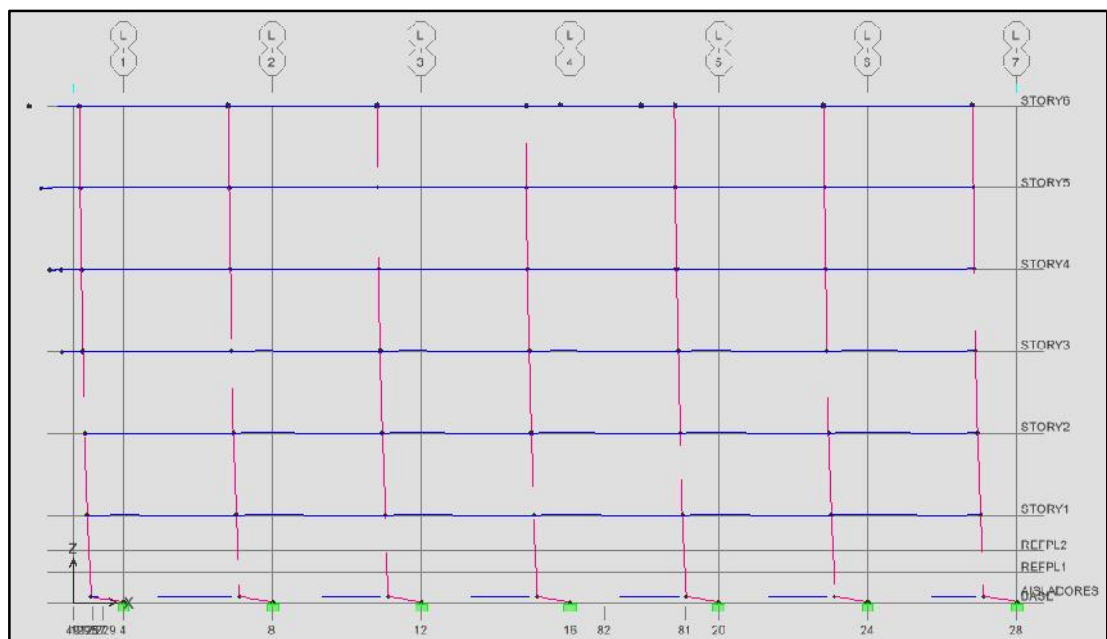


Fig. 8.5. Modo 2 Pórtico 1, Sentido x, Gobernantes HDR+LBR

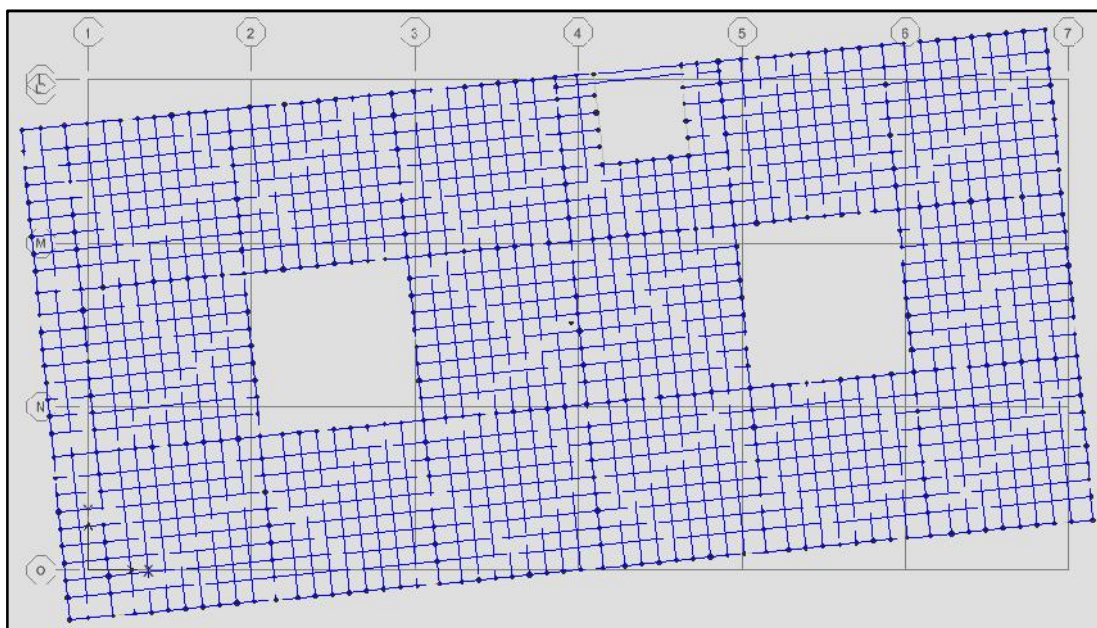


Fig. 8.6. Modo 3 planta, Gobernantes HDR + LBR

8.3.2. DESPLAZAMIENTO DEL SISTEMA DE AISLACIÓN

Es importante conocer este parámetro principalmente por dos razones: para verificar si este desplazamiento se encuentra dentro del rango dado por el sismo de diseño, lo cual tiene que cumplirse para que el sistema sea efectivo, ya que el sistema de aislación es el que absorbe la mayor cantidad de deformaciones; además en el diseño y construcción de un edificio aislado, sirve para definir valores para la junta de separación entre el edificio y el terreno u otros elementos circundantes. A continuación se presentan los datos mencionados en tablas y en diagramas de barras para una mejor visualización:

DEFORMACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AISLACIÓN, ANÁLISIS ESPECTRAL			
TIPO DE SISTEMA	SISMO EN X (cm)	SISMO EN Y (cm)	RESULTANTE (cm)
HDR	12,04	11,79	16.85
HDR+LBR	11,93	11,77	16.76

Tabla 8.3 Deformación de los sistemas de aislación, Análisis espectral

Se tienen dos diagramas que permiten ver de mejor manera la variación de los desplazamientos:



Fig.8.7. Desplazamientos del sistema en X



Fig.8.8. Desplazamientos del sistema en Y

De la tabla y los diagramas presentados se puede establecer que la deformación máxima no llega a 15 cm; particularmente el sistema HDR proporciona por muy poco deformaciones mayores que el sistema HDR+LBR; es decir, en dirección “X” HDR tiene una deformación de

12.04cm, lo que sobrepasa con 0.27 cm al sistema HDR+LBR en la misma dirección; en dirección “Y” en cambio, la diferencia es de 0.14 cm, diferencia que es aún más pequeña.

Analizando las deformaciones en “X” e “Y” en el sentido “X” se presentan las mayores deformaciones en los dos sistemas, pero otra vez por diferencias minúsculas.

Comparando las resultantes vectoriales de los desplazamientos, de igual forma la sumatoria del sistema HDR es 16.85 cm y es mayor que el HDR+LBR que arroja un valor de 16.76 cm; pero las diferencias son muy bajas, del orden de 0.54%.

De las propiedades mecánicas del elastómero, se podría decir que entre los dos sistemas de aislación tienen parámetros comunes como el área, rigidez, como es normal porque se trata del mismo edificio con las mismas cargas y sollicitaciones. Existen parámetros diferentes como el espesor de una capa de elastómero, altura total del aislador, número de capas de elastómero; lo que obviamente nos da una idea clara que la deformación lateral está en función de los parámetros antes mencionados, es decir que el aislador se deforma más cuando tiene mayor número de capas de elastómero, pero no necesariamente mayor altura de las capas individuales.

El ítem analizado arrojó parámetros importantes, ya que en las estructuras, las deformaciones son un parámetro decisivo para el diseño de las mismas. Los datos son coherentes y están dentro de lo esperado; pero, como la diferencia entre los desplazamientos que provocan la implementación de los sistemas es tan pequeña, no dará criterios sostenibles para una pre-selección del sistema más apropiado, por tanto necesita que se calcule los valores de los desplazamientos relativos de la estructura y el cortante basal, para tener un mejor criterio de selección.

8.3.3. DESPLAZAMIENTO RELATIVO DE LA SUPERESTRUCTURA

En el estudio de las estructuras, el cálculo de los desplazamientos absolutos y relativos de cada uno de los niveles de la edificación es de vital importancia, ya que es un indicador muy claro de cuanto se deterioran o se dañan los elementos estructurales y no estructurales; entonces debemos verificar que la estructura no presente deformaciones muy grandes.

El cálculo y evaluación de la deriva de piso o desplazamiento relativo nos dará un indicador más claro de cual sistema de aislación es más adecuado para el edificio; Gobernantes tiene su nivel basal en N+00 y por ello será más sencillo obtener las deformaciones del programa y no confundirse con los niveles.

Los valores de desplazamiento máximo de cada nivel respecto a la base y su representación entregan valiosa información, con ello se puede observar claramente que la mayor deformación ocurre en la interfaz de aislación, y que la deformación de los diferentes niveles no experimenta cambios importantes ni amplificaciones en altura, comportándose el edificio casi como un cuerpo rígido sobre el sistema de aislación.

En las siguientes tablas y gráficos siguientes se presentan los desplazamientos, las derivas, por cada piso desde el nivel de aislamiento, para que de esta forma se pueda comparar gráficamente las diferencias entre los sistemas de aislación.

DEFORMACIONES DE LOS PISOS, GOBERNANTES						
PISO	NIVEL	SENTIDO	HDR		HDR + LBR	
	(m)		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
PISO 6	23,76	MAX (+)	16,08	16,90	15,81	16,38
PISO 6	23,76	MAX (-)	16,49	17,03	16,17	16,50
PISO 5	19,80	MAX (+)	15,84	16,41	15,61	15,99
PISO 5	19,80	MAX (-)	16,15	16,52	15,86	16,08
PISO 4	15,84	MAX (+)	15,48	15,85	15,28	15,52

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

PISO 4	15,84	MAX (-)	15,70	15,95	15,45	15,60
PISO 3	11,88	MAX (+)	14,94	15,13	14,76	14,87
PISO 3	11,88	MAX (-)	15,09	15,20	14,88	14,93
PISO 2	7,92	MAX (+)	14,19	14,20	14,03	14,03
PISO 2	7,92	MAX (-)	14,28	14,25	14,11	14,07
PISO 1	3,96	MAX (+)	13,23	13,10	13,10	13,00
PISO 1	3,96	MAX (-)	13,28	13,13	13,14	13,02
AISLADORES	-0,30	MAX (+)	12,04	11,79	11,93	11,77
AISLADORES	-0,30	MAX (-)	12,04	11,79	11,93	11,77

Tabla 8.4 Deformaciones de los pisos, Gobernantes



Fig.8.9. Deformaciones por pisos, Sentido X. Gobernantes

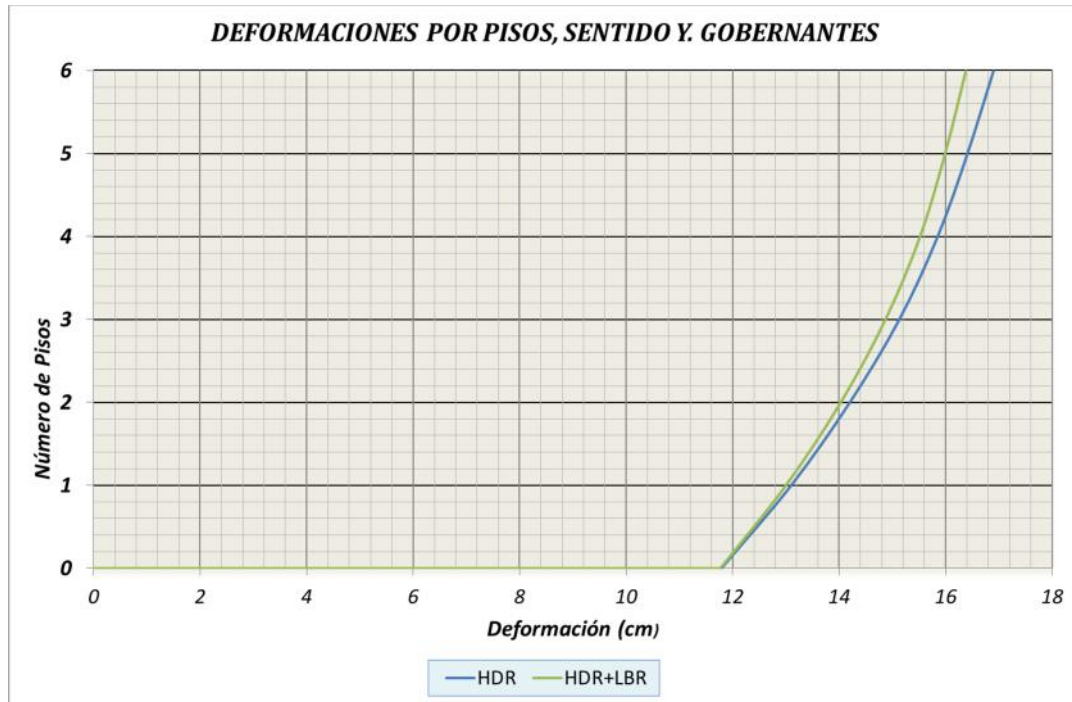


Fig.8.10. Deformaciones por pisos, Sentido Y. Gobernantes

Anteriormente se han comparado los desplazamientos entre sistemas de aislación, ahora se exponen dos figuras exportadas desde el paquete Etabs para comparar los desplazamientos en cada sentido.

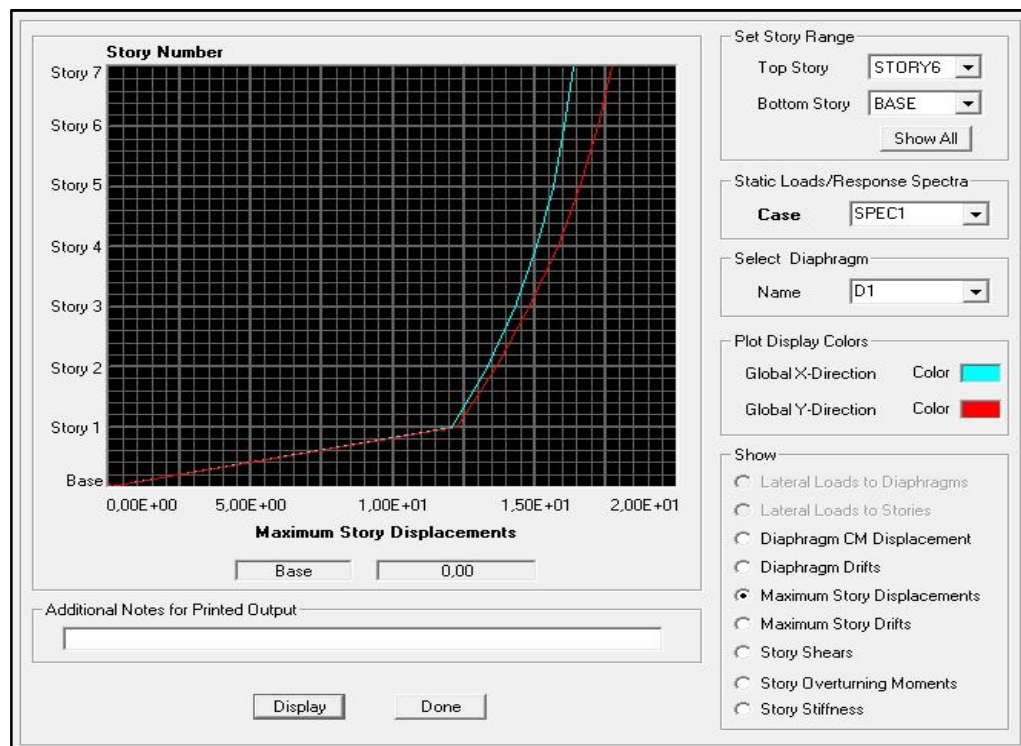


Fig.8.11. Desplazamientos HDR Sentidos X e Y en (cm)

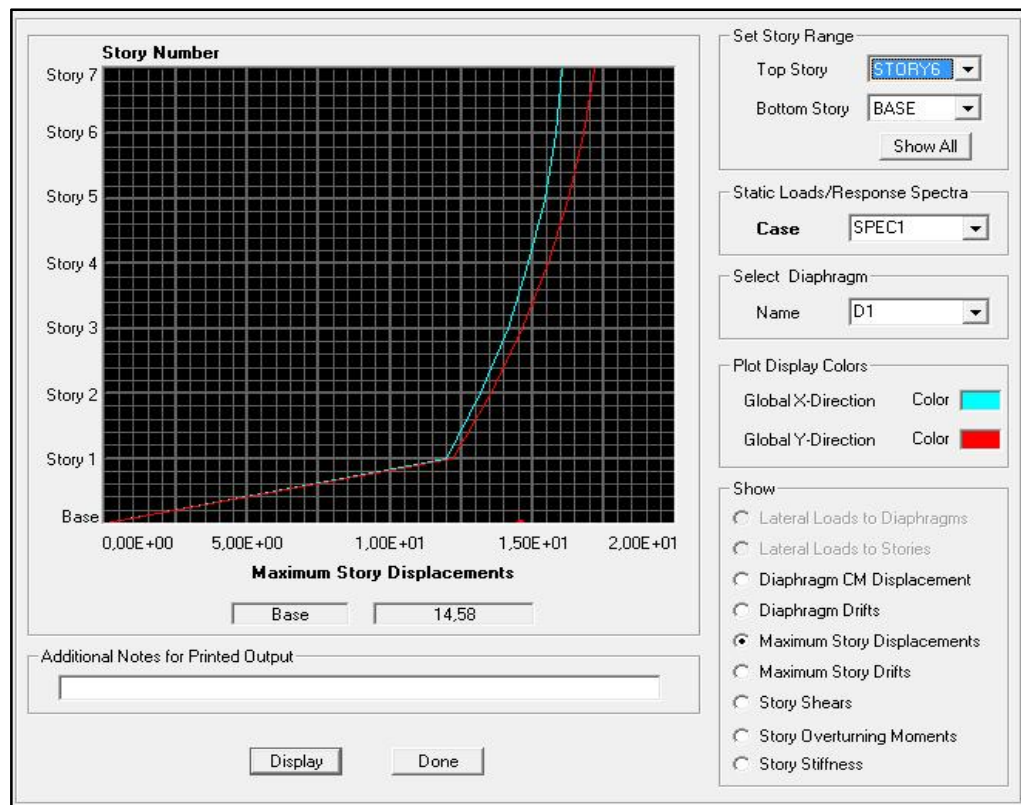


Fig.8.12. Desplazamientos HDR +LBR, Sentidos X e Y en (cm)

VALORES MÁXIMOS. DERIVA DE PISO; GOBERNANTES				
PISO	HDR		HDR + LBR	
	X (%)	Y (%)	X (%)	Y (%)
6	0,09	0,13	0,08	0,10
5	0,12	0,15	0,11	0,13
4	0,16	0,20	0,15	0,18
3	0,20	0,25	0,19	0,23
2	0,25	0,30	0,25	0,28
1	0,31	0,36	0,30	0,34
AISL.	51,72	52,37	44,39	45,24

Tabla 8.5 Valores máximos, Deriva de piso; Gobernantes

De lo expuesto en las tablas anteriores podemos decir que los sistemas responden de buena manera, y los desplazamientos máximos en los dos casos son pequeños en las dos direcciones, por lo que contribuyen de

buena forma a que los valores de las derivas de piso sean deseables para la estructura.

Así mismo en los dos casos de análisis la estructura se deforma más en el sentido “Y”, esto es comprensible ya que en esta dirección la estructura es menos rígida, pero aun así las diferencias cuantitativas son mínimas.

Realizando el análisis comparativo entre los sistemas de aislación, podemos notar que los desplazamientos máximos en cada sentido de la estructura, son ligeramente menores los del sistema HDR de aislación.

Comparando los resultados de las derivas de piso, se expone que con el sistema HDR+LBR se tienen los valores más pequeños que con el sistema HDR; pero de igual manera las diferencias entre estos valores es pequeña.

Con toda esta información de desplazamientos y tomando en cuenta la ubicación en planta de los aisladores, tenemos un primer indicador que aunque muy sutil, puede ayudarnos a tomar una decisión de elección del sistema de aislación más adecuado a implementarse, en el edificio Gobernantes.

8.3.4. ACELERACIONES ESPECTRALES DE RESPUESTA

Esta aceleración es muy importante, ya que se expone las variaciones de velocidad que la estructura produce bajo la influencia del espectro NEC-11; éste indicador además es importante dentro del diseño, porque tiene relación con los daños que pueda presentar la estructura al ser sometida a un sismo severo, y principalmente con el nivel de fuerzas y daños que pueden sufrir los equipos y contenidos que se encuentren al interior de la estructura.

En el caso de Gobernantes que tiene funciones en el piso dos como de biblioteca y en los demás niveles de oficinas, su colocación y fijación dependerá de la importancia de los equipos, pero en general toda importancia económica es válida. Es un parámetro que se debe controlar ya

que, valores bajos ayudarán a evitar el pánico de las personas que ocupan el edificio.

Se presentan las tablas y los gráficos que permitan interpretar de forma adecuada las aceleraciones de respuesta espectral, por cada modo de vibración del edificio, para ver la influencia de los sistemas de aislación y la diferencia entre ellos.

ACELERACIÓN ESPECTRAL DE RESPUESTA, HDR					
<i>Espectro</i>	<i>Modo</i>	<i>Período</i>	<i>Esc. Fact</i>	<i>Ux</i>	<i>Uy</i>
NEC-11	1	2,146	9,81	1,30	1,30
NEC-11	2	2,109	9,81	1,32	1,32
NEC-11	3	2,036	9,81	1,37	1,37
NEC-11	4	0,427	9,81	3,60	3,60
NEC-11	5	0,387	9,81	3,60	3,60
NEC-11	6	0,374	9,81	3,60	3,60
NEC-11	7	0,184	9,81	3,60	3,60
NEC-11	8	0,175	9,81	3,60	3,60
NEC-11	9	0,168	9,81	3,60	3,60
NEC-11	10	0,108	9,81	3,60	3,60
NEC-11	11	0,102	9,81	3,60	3,60
NEC-11	12	0,096	9,81	3,60	3,60

Tabla 8.6 Aceleración espectral de respuesta, HDR

ACELERACIÓN ESPECTRAL DE RESPUESTA, HDR+LBR					
<i>Espectro</i>	<i>Modo</i>	<i>Período</i>	<i>Esc. Fact</i>	<i>Ux</i>	<i>Uy</i>
NEC-11	1	2,102	9,81	1,33	1,33
NEC-11	2	2,079	9,81	1,34	1,34
NEC-11	3	1,865	9,81	1,50	1,50
NEC-11	4	0,407	9,81	3,60	3,60
NEC-11	5	0,378	9,81	3,60	3,60
NEC-11	6	0,364	9,81	3,60	3,60
NEC-11	7	0,184	9,81	3,60	3,60
NEC-11	8	0,175	9,81	3,60	3,60
NEC-11	9	0,167	9,81	3,60	3,60
NEC-11	10	0,107	9,81	3,60	3,60

NEC-11	11	0,102	9,81	3,60	3,60
NEC-11	12	0,096	9,81	3,60	3,60

Tabla 8.7 Aceleración Espectral de respuesta, HDR+LBR



Fig.8.13. Aceleraciones Espectrales de Respuesta

Revisando los valores de las tablas anteriores, se ve claramente que los valores expuestos en las dos direcciones y en los distintos modos de vibración, no son muy altos y que cumplen el objetivo de ser reducidos por los sistemas de aislación basal implementados, en general los dos sistemas de aislación presentan valores cercanos en los tres primeros modos de vibración pero, a partir del cuarto modo los dos sistemas tiene una aceleración constante.

Comparando entre sistemas de aislación, se establece que el sistema HDR posee una ligera tendencia favorable, en los dos sentidos de los resultados de las aceleraciones en los primeros tres modos de vibración, ya que a partir del cuarto modo la aceleración es constante.

En los diagramas las líneas que representan las aceleraciones HDR y HDR+LBR son muy similares en cada modo de vibración, con lo cual se puede apreciar la influencia de los sistemas elastoméricos, además que para

el caso del edificio Gobernantes al incluir apoyos con núcleo de plomo no se obtiene mayores beneficios para la estructura, en cuanto a aceleraciones espectrales de respuesta se refiere.

8.3.5. CORTANTE BASAL DE LA ESTRUCTURA

Finamente y con el afán de tener la mayor cantidad de datos disponibles para la selección adecuada del sistema de aislación, se calculará el perfil de respuesta del cortante basal en cada uno de los sistemas; este parámetro es de vital importancia ya que se refleja de manera directa en el nivel de esfuerzos sobre los elementos estructurales. Como es costumbre se exponen una gama de diagramas para las respuestas estructurales en cada sentido del edificio:

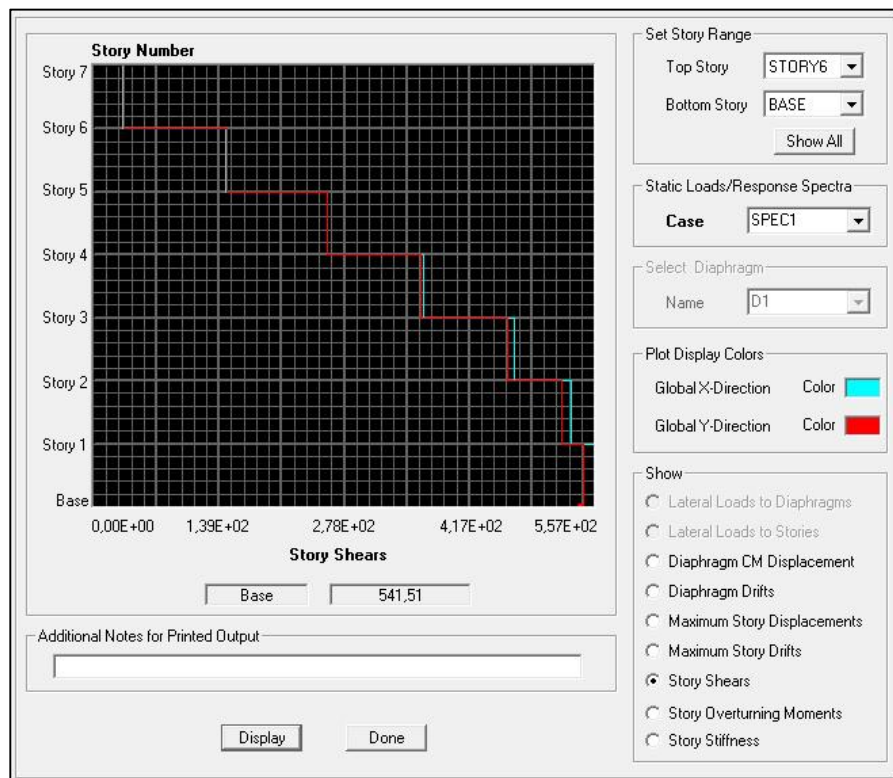


Fig.8.14. Respuesta del Cortante Basal, Gobernantes. HDR

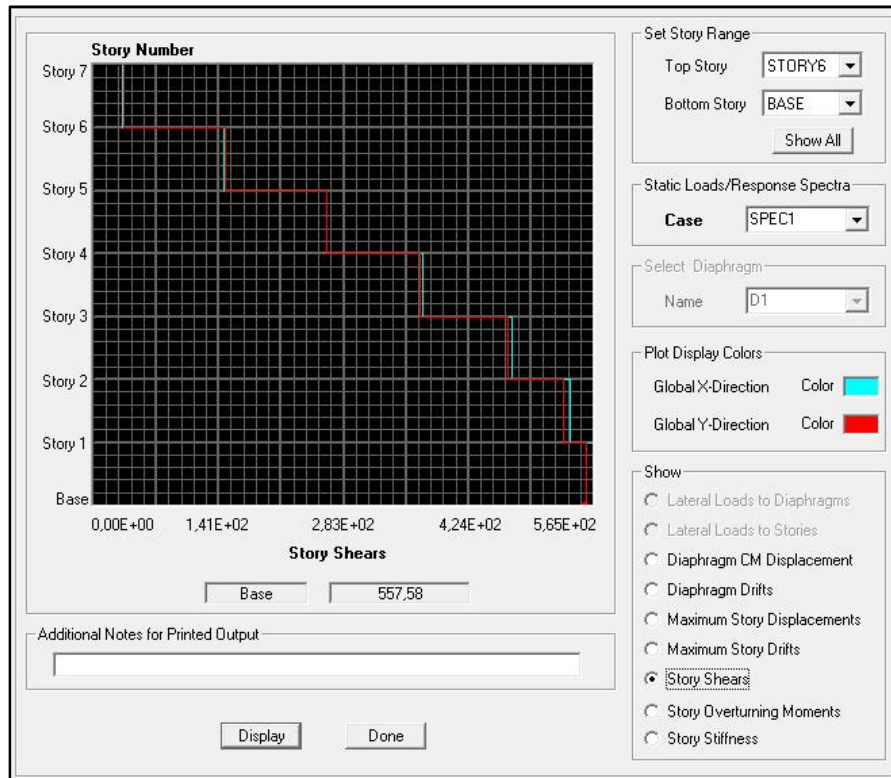


Fig.8.15. Respuesta del Cortante Basal, Gobernantes. HDR+LBR

Las figuras anteriores exponen las respuestas mencionadas, en cada sentido de la estructura y por cada nivel de la misma para el espectro de aceleraciones; cabe notar que por efecto del paquete al nivel en donde se encuentran los aisladores le asigna el nombre de Story 1, es por eso que en las figuras presenta hasta Story 7, mientras el edificio tiene 6 pisos.

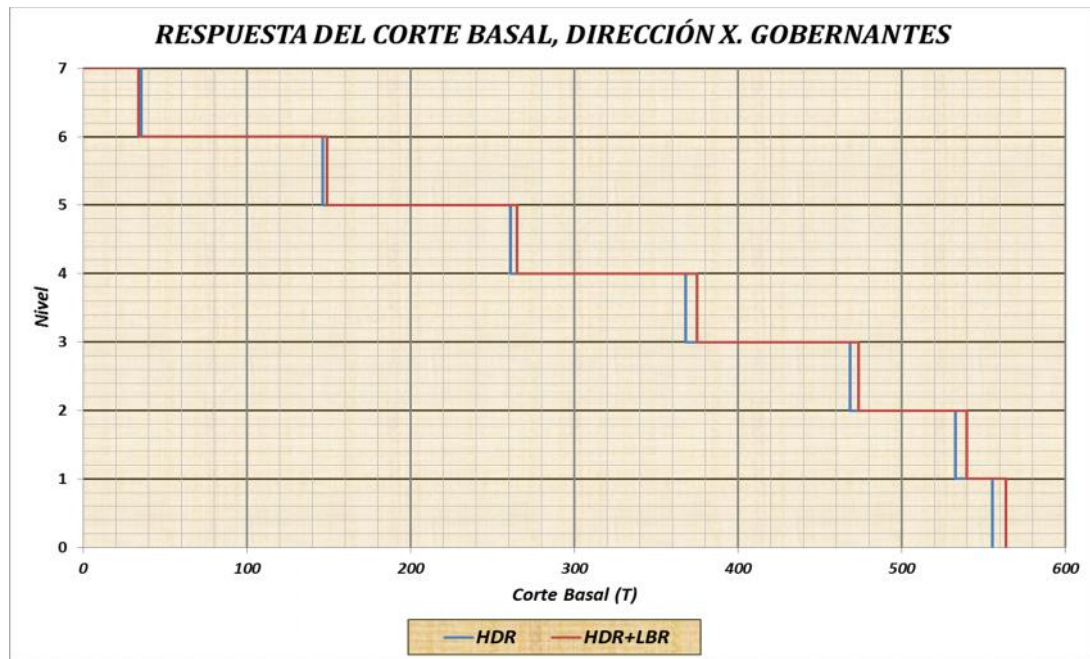


Fig.8.16. Respuesta del Cortante Basal, Dirección X. Gobernantes

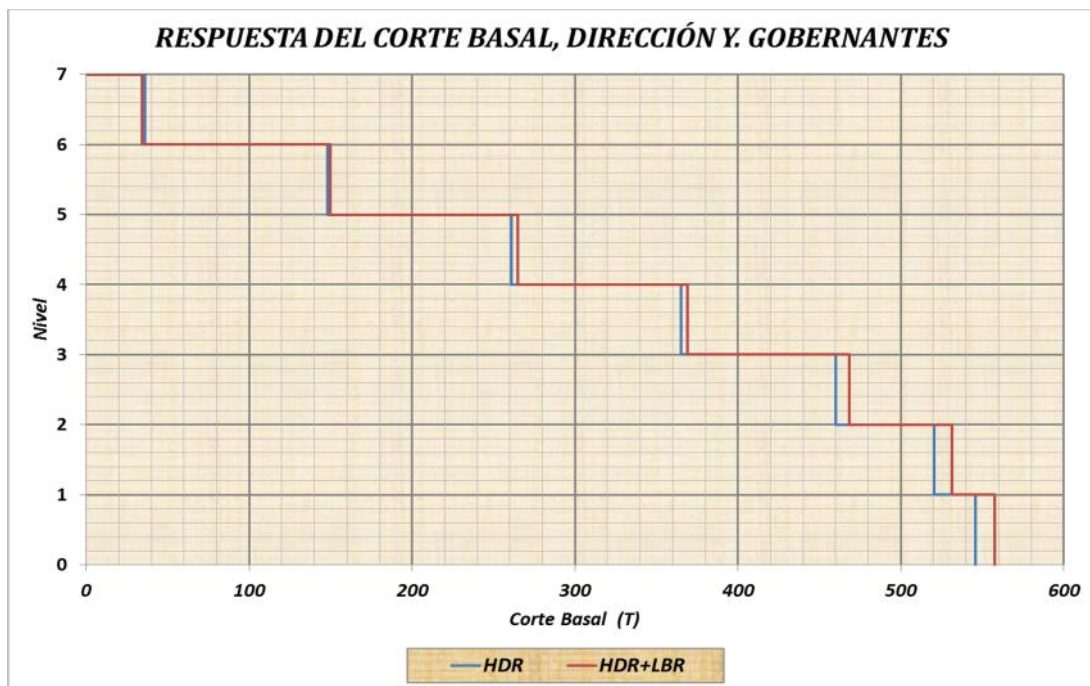


Fig.8.17. Respuesta del Cortante Basal, Dirección Y. Gobernantes

RESPUESTA DEL CORTANTE BASAL POR PISO Y SISTEMA, GOBERNANTES								
PISO	HDR		HDR+LBR		HDR		HDR+LBR	
	X	Y	X	Y	UX	UY	UX	UY
6	35,40	36,20	33,70	34,23	35,40	36,20	33,70	34,23

5	146,31	147,82	148,59	149,59	110,91	111,62	114,89	115,36
4	260,95	260,95	265,02	265,02	114,64	113,13	116,43	115,43
3	368,04	365,03	374,96	369,17	107,09	104,08	109,94	104,15
2	468,10	460,05	473,33	468,20	100,06	95,02	98,37	99,03
1	532,46	520,39	539,73	531,54	64,36	60,34	66,40	63,34
0	555,08	546,03	563,71	557,55	22,62	25,64	23,98	26,01
SUMA	-	-	-	-	555,08	546,03	563,71	557,55

Tabla 8.8 Respuesta del cortante basal por piso y sistema, Gobernantes

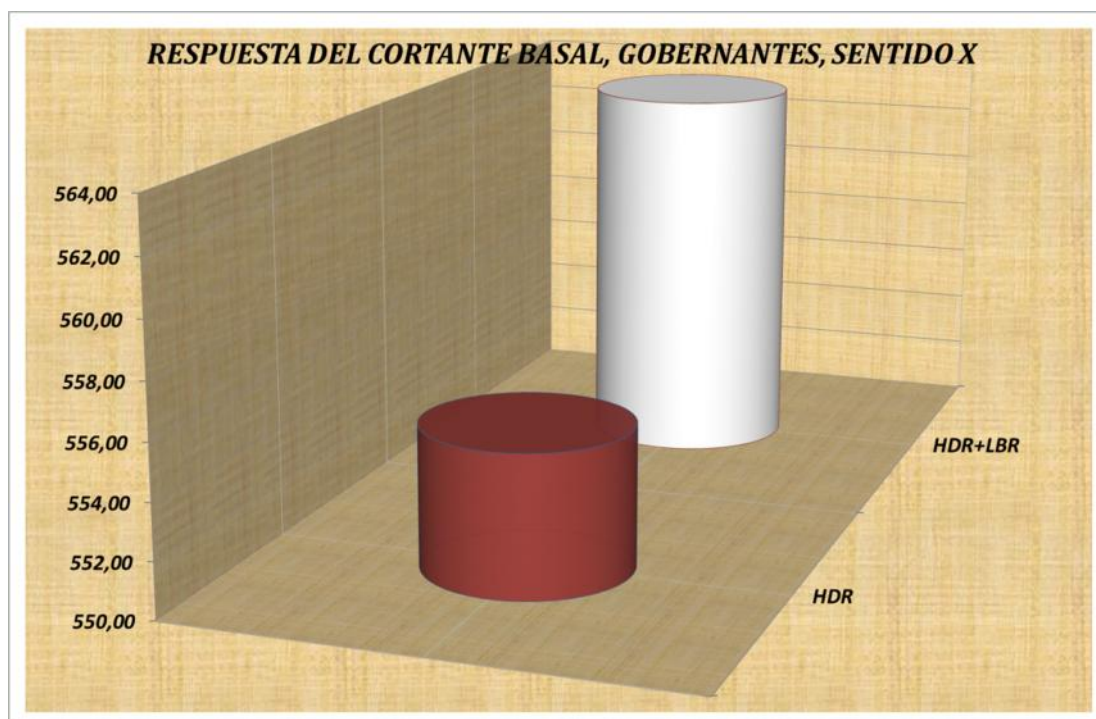


Fig.8.18. Respuesta del Cortante Basal, Sumatoria en X. Gobernantes

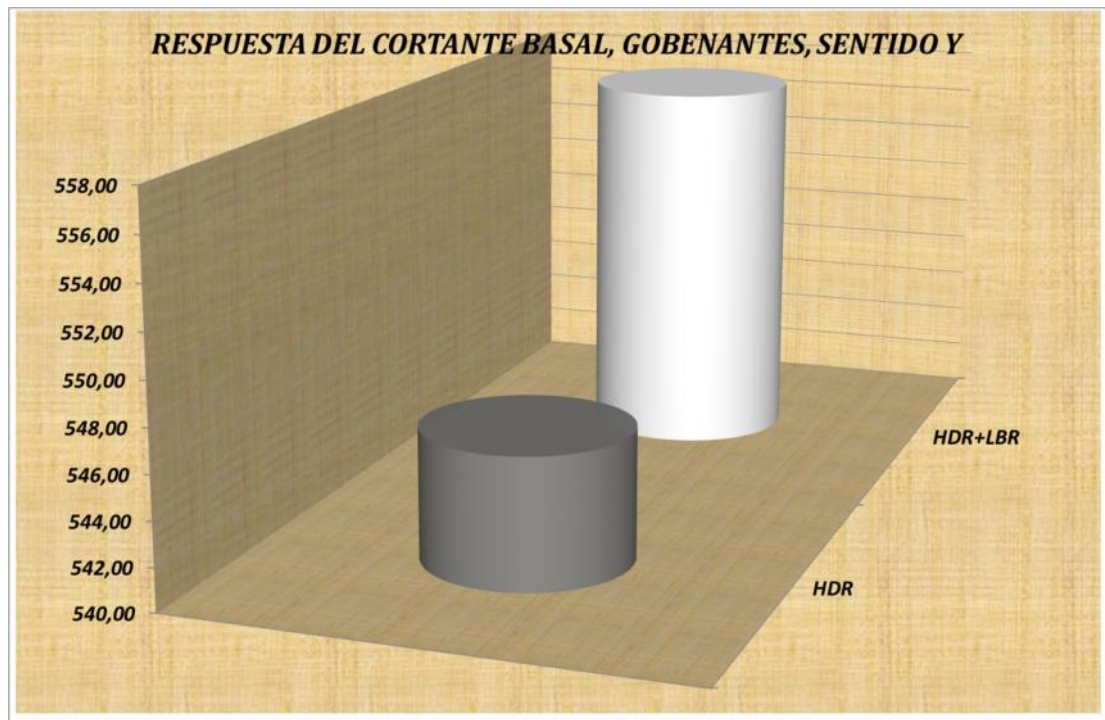


Fig.8.19. Respuesta del Cortante Basal, Sumatoria en Y. Gobernantes

Analicemos entonces como ha variado el corte basal en estas modificadas estructuras; primeramente estudiemos que pasa con las direcciones X e Y en las mismas direcciones, en el caso HDR los valores del cortante en X son ligeramente mayores, aunque la diferencia es muy ligera, la diferencia entre los cortantes en el nivel basal es 9.05 Ton. Con el sistema HDR+LBR tenemos que él cortante otra vez es mayor en la dirección X con una diferencia de 6.16 Ton, una diferencia pequeña considerando el total del cortante.

Conviene ahora comparar los cortantes en los mismos sentidos pero de sistemas diferentes; vemos que en la dirección X en la sumatoria tiene un menor valor el sistema HDR, pero esto no se refleja en todos los niveles sino que en algunos pisos como son el seis y el dos el cortante de piso es mayor el de HDR. La diferencia entre la sumatoria de los cortantes entre los sistemas es baja y le corresponde el valor de 8.63 Ton.

En la dirección global Y, el cortante acumulado es menor el de HDR, pero de igual forma esto no pasa en todos los niveles, sino que en el piso seis el cortante de HDR es mayor. La diferencia entre la sumatoria de cortantes de los sistemas es de 6.16 Ton, menor que en la dirección X.

Ahora bien, realizaremos un resumen de los resultados que se han obtenido en los indicadores y parámetros expuestos hasta aquí; en los desplazamientos del sistema de aislación teníamos que el sistema HDR por diferencias sutiles se desplaza un poco más que el HDR+LBR; en cuanto a las deformaciones y derivas de la estructura, establecemos que el sistema HDR+LBR produce derivas de piso menores por una diferencia muy pequeña. Comparando las aceleraciones diremos que los dos sistemas tienen aceleraciones iguales en los tres primeros modos de vibración, ya que la diferencia es del orden de las centésimas. Finalmente, en el cortante basal concluimos, que los valores de menor cortante tiene el sistema HDR, pero de igual forma con diferencias no muy pronunciadas.

Por todo lo expuesto anteriormente se puede concluir que los dos sistemas de aislación en estudio cumplen con el objetivo de aislar la estructura, cada sistema tiene sus propias características y formas de actuar generando beneficiosos efectos sobre los parámetros estudiados, además los resultados que arrojan los dos modelos (HDR y HDR+LBR), en todos los parámetros están dentro de límites aceptados y permitidos por el código; la diferencia entre los sistemas la marcaron detalles, y la necesidad de ver el comportamiento y beneficios del edificio Gobernantes bajo un marco global, siendo el sistema HDR el que mejor cumple con los requerimientos técnicos y por eso es el elegido para implementarse en la estructura, además que el diseño de la misma se realizará con este sistema al igual que las comparaciones con la estructura convencional.

8.4. COMPARACIÓN DE COMPORTAMIENTO; ESTRUCTURA CONVENCIONAL VERSUS ESTRUCTURA AISLADA

Este es uno de los ítems más importantes de este trabajo de investigación, ya que aquí se vuelca todos los resultados más importantes de la estructura aislada, acompañada de sus homólogos en la estructura convencional.

Ya se determinó que sistema de aislación de entre los propuestos era el más beneficioso para el edificio Gobernantes en particular, pero tan importante como determinar el sistema de aislación más adecuado de usar, es el hecho de poder comparar y cuantificar que tan efectivo es el sistema y su efecto, respecto al caso del mismo edificio pero visto en forma convencional, es decir no aislado.

Al realizar el estudio paralelo entre la estructura de base aislada y base fija se podrá observar: si implementar un sistema de aislación para el caso particular en estudio es realmente ventajoso, y produce reducciones en los parámetros de análisis que cuantitativamente justifiquen la posible mayor inversión, el mayor detalle necesario en el nivel de aislación y el mayor trabajo de ensayar e implementar el sistema de aislación; pero que, como resultado tengan un comportamiento más óptimo del edificio aislado; además ésta comparación nos permite hacer una idea del nivel de daños en que puede incursionar cada estructura, desde el punto de vista de los elementos estructurales como de los equipos y contenidos.

Para que el análisis estructural sea paralelo y la comparación de parámetros estructurales sea coherente, obviamente debe ser el mismo tipo de análisis, en nuestro caso el análisis escogido fue con el espectro de aceleraciones de suelo propuesto por la NEC-11, eventualmente se diseñará la estructura aislada y se compararán los resultados con la no aislada, con los códigos CEC-2002 y NEC-11.

El análisis comparativo se realiza entre la estructura aislada con el sistema determinado en el punto anterior, es decir el HDR, y la estructura convencional, como parámetros de contraste se utilizarán los mismos que se usaron para definir cuál sistema de aislación era el más adecuado, por las razones ya explicadas, el único parámetro que no se aplicó es la deformación del sistema de aislación debido a que éste no existe en la estructura convencional.

8.4.1. DESPLAZAMIENTO RELATIVO; ESTRUCTURA AISLADA Y BASE FIJA

Ya se ha hablado de la importancia que tiene este indicador en las sollicitaciones de la estructura, por tanto cabe ahora exponer la información necesaria. Para poder cuantificar la eficiencia del sistema de aislación, primero se presentarán un juego de cuatro diagramas donde se comparan los desplazamientos de la estructura convencional y aislada, en los dos iniciales se verán los desplazamientos incluido el desplazamiento del sistema de aislación y luego para mejor visualización sin incluir el nivel solo los desplazamientos.

También se exponen las tablas de valores de los diagramas correspondientes, el sistema de configuración será: número de piso o nivel y desplazamiento correspondiente desde el nivel de cimentación y en cada dirección de la estructura.



Fig.8.20. Comparación: Desplazamientos en X, Aislada vs. Convencional



Fig.8.21. Comparación: Desplazamientos en Y, Aislada vs. Convencional

COMPARACIÓN: DEFORMACIÓN X. GOBERNANTES				
PISO	NIVEL	SENTIDO	AISLADA (HDR)	CONVENCIONAL
	(m)		UX (cm)	UX (cm)
6	23,76	MAX (+)	16,08	6,56
5	19,80	MAX (+)	15,84	5,94
4	15,84	MAX (+)	15,48	5,02
3	11,88	MAX (+)	14,94	3,74
2	7,92	MAX (+)	14,19	2,21
1	3,96	MAX (+)	13,23	0,76
0	0,00	MAX (+)	12,04	0,00

Tabla 8.9 Comparación: Deformación X, Gobernantes

COMPARACIÓN: DEFORMACIÓN Y. GOBERNANTES				
PISO	NIVEL	SENTIDO	AISLADA (HDR)	CONVENCIONAL
	(m)		UX (cm)	UX (cm)
6	23,76	MAX (+)	16,90	7,34
5	19,80	MAX (+)	16,41	6,42
4	15,84	MAX (+)	15,85	5,32
3	11,88	MAX (+)	15,13	3,88

2	7,92	MAX (+)	14,20	2,24
1	3,96	MAX (+)	13,10	0,75
0	0,00	MAX (+)	11,79	0,00

Tabla 8.10 Comparación: Deformación Y, Gobernantes

De las figuras anteriores se observa que, en la estructura aislada el mayor desplazamiento ocurre en el interfaz de aislación, lo que está acorde al modelo, permaneciendo los pisos superiores con pocas distorsiones en altura prácticamente como si fuera un solo bloque.

El edificio sin aislación obviamente no presenta el nivel de desplazamiento respecto al suelo que el aislado, pero se puede apreciar por la forma de la curva que los desplazamientos de los diferentes niveles se van amplificando a medida que aumenta la altura, lo que es un comportamiento típico de las estructuras convencionales. Recordemos que de alguna manera ésta deformación de los elementos de cada nivel, es la que permite disipar la energía que entrega el sismo, lo cual en el caso del edificio aislado ocurre principalmente en el nivel de aislación con la gran deformación que se produce en esa interfaz. Este comportamiento se duplica en las dos direcciones.

A fin de aclarar lo anterior comparemos el desplazamiento máximo de cada piso respecto al nivel de cimentación de cada estructura, pero a los desplazamientos de cada piso de la estructura aislada se substraen el desplazamiento del sistema de aislación, para comparar parámetros semejantes; en donde están las respectivas curvas de cada estructura y los valores de deformación de cada nivel, según su dirección, se presentan entonces los diagramas correspondientes a este cambio y las respectivas tablas de valores.

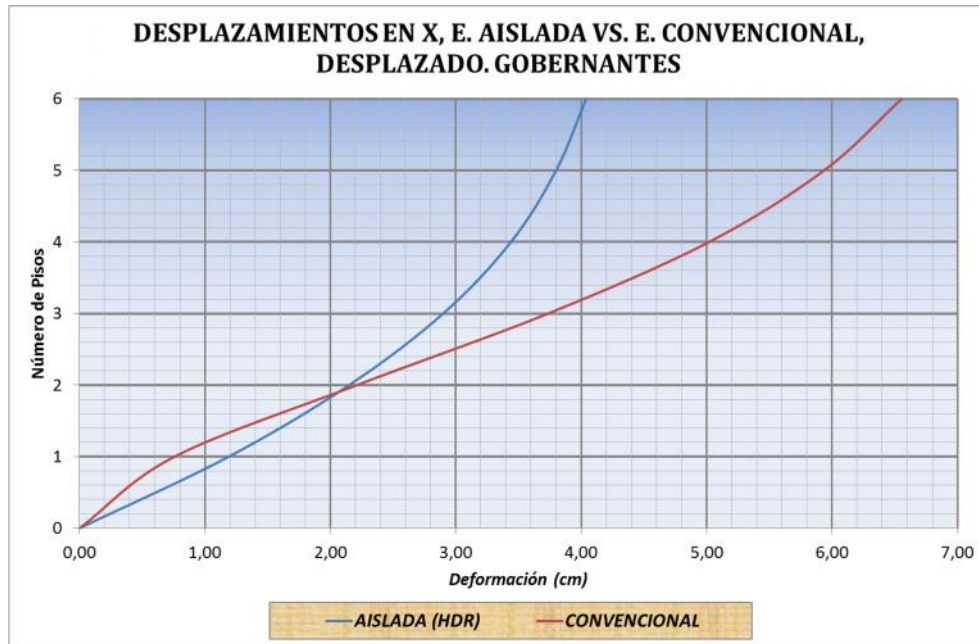


Fig.8.22. Comparación: Desplazamientos en X, Aislada (desplazada) vs. Convencional



Fig.8.23. Comparación: Desplazamientos en Y, Aislada (desplazada) vs. Convencional

Tenemos las tablas de valores utilizadas para la construcción de los diagramas precedentes:

COMPARACIÓN: DEFORMACIÓN X, DESPLAZADA. GOBERNANTES				
PISO	NIVEL (m)	SENTIDO	AISLADA (HDR) UX (cm)	CONVENCIONAL UX (cm)
6	23,76	MAX (+)	4,04	6,56
5	19,80	MAX (+)	3,80	5,94
4	15,84	MAX (+)	3,44	5,02
3	11,88	MAX (+)	2,90	3,74
2	7,92	MAX (+)	2,15	2,21
1	3,96	MAX (+)	1,19	0,76
0	0,00	MAX (+)	0,00	0,00

Tabla 8.11 Comparación: Deformación X, desplazada, Gobernantes

COMPARACIÓN: DEFORMACIÓN Y, DESPLAZADA. GOBERNANTES				
PISO	NIVEL (m)	SENTIDO	AISLADA (HDR) UY (cm)	CONVENCIONAL UY (cm)
6	23,76	MAX (+)	5,11	7,34
5	19,80	MAX (+)	4,62	6,42
4	15,84	MAX (+)	4,06	5,32
3	11,88	MAX (+)	3,34	3,88
2	7,92	MAX (+)	2,41	2,24
1	3,96	MAX (+)	1,31	0,75
0	0,00	MAX (+)	0,00	0,00

Tabla 8.12 Comparación: Deformación Y, desplazada, Gobernantes

Se aprecia que el desplazamiento en el último piso de la estructura aislada es de 4.04 cm en la dirección **X**, y de 5.11 cm en la dirección **Y**, en cambio para la estructura no aislada estos mismos valores son de 6.56 cm. y 7.34 cm respectivamente, lo que significa una reducción del orden del 38 % y 31 % para cada caso, en el quinto piso el desplazamiento de la estructura aislada es de 3.80 cm en **X** y de 4.62 cm. en **Y**; para la estructura no aislada estos desplazamientos corresponden a 5.94 cm y 6.42 cm., lo que es un 36 % y 28 % de reducción en cada caso.

En el piso primero sucede algo singular, el desplazamiento de la estructura convencional es menor que el de la estructura aislada pero la diferencia es del orden de 4 mm.

Con respecto a la estructura aislada, por el nivel de desplazamiento que se produce en la interfaz es necesario desarrollar detalles especiales para las conexiones de las instalaciones, esto se soluciona con conexiones flexibles, además se debe tener precauciones especiales con los accesos y escaleras que crucen el sistema de aislación, estos detalles tienen soluciones constructivas que no involucran grandes dificultades.

Para culminar el estudio de los desplazamientos, se presenta una tabla final de desplazamientos absolutos en cada sentido y dirección de la estructura convencional y aislada.

DEFORMACIÓN ABSOLUTA, GOBERNANTES						
PISO	NIVEL	SENTIDO	CONVENCIONAL		HDR	
	(m)		UX (cm)	UY (cm)	UX (cm)	UY (cm)
PISO 6	23,76	MAX (+)	6,56	7,34	16,08	16,90
PISO 6	23,76	MAX (-)	6,82	7,40	16,49	17,03
PISO 5	19,80	MAX (+)	5,94	6,42	15,84	16,41
PISO 5	19,80	MAX (-)	6,12	6,46	16,15	16,52
PISO 4	15,84	MAX (+)	5,02	5,32	15,48	15,85
PISO 4	15,84	MAX (-)	5,13	5,35	15,70	15,95
PISO 3	11,88	MAX (+)	3,74	3,88	14,94	15,13
PISO 3	11,88	MAX (-)	3,80	3,90	15,09	15,20
PISO 2	7,92	MAX (+)	2,21	2,24	14,19	14,20
PISO 2	7,92	MAX (-)	2,24	2,25	14,28	14,25
PISO 1	3,96	MAX (+)	0,76	0,75	13,23	13,10
PISO 1	3,96	MAX (-)	0,77	0,75	13,28	13,13
AISL.	-0,30	MAX (+)	-	-	12,04	11,79
AISL.	-0,30	MAX (-)	-	-	12,04	11,79

Tabla 8.13 Deformación absoluta, Gobernantes

Ya visto el tema de los desplazamientos máximos respecto al nivel del suelo, se analiza el aspecto de los desplazamientos relativos o derivas, para poder evaluar objetivamente la efectividad de la aislación y el nivel de reducción que presenta éste parámetro, a la vez en la siguiente tabla se presentan los máximos desplazamientos relativos de la estructura convencional, aislada y el factor de reducción, el cual queda definido por la relación entre la respuesta de la estructura de base fija y la estructura aislada.

COMPARACIÓN DE VALORES MÁXIMOS. DERIVA DE PISO; GOBERNANTES							
PISO	NIVEL (m)	HDR		CONVENCIONAL		F. REDUCCIÓN	
		X (%)	Y (%)	X (%)	Y (%)	FSx	FSy
6	23,76	0,09	0,13	0,18	0,26	2,07	2,01
5	19,80	0,12	0,15	0,25	0,32	2,21	2,10
4	15,84	0,16	0,20	0,34	0,42	2,19	2,11
3	11,88	0,20	0,25	0,40	0,48	1,95	1,90
2	7,92	0,25	0,30	0,38	0,44	1,48	1,46
1	3,96	0,31	0,36	0,20	0,22	0,63	0,61

Tabla 8.14 Comparación de valores máximos, deriva de pisos; Gobernantes

En la tabla anterior se puede notar claramente la ventaja del sistema aislado, ya que presenta valores de las derivas menores que en su homóloga de base fija.

En todos los niveles de la estructura se puede ver que la deriva de piso del edificio, es menor en el sistema HDR que en el convencional, esto se refleja en los dos sentidos del edificio, cabe notar que en el sentido X las diferencias son más acentuadas que en el sentido Y, esto es por la configuración en planta del edificio. Recordando las derivas del otro sistema de aislación (HDR+LBR), eran muy semejantes e incluso menores, pero de igual forma eran poco menores en el sentido X. Una observación que vale la pena tomar en cuenta es que en el primer piso del edificio, el cual solamente consta de vigas en los dos sentidos, la deriva en el caso aislado es mayor, claro que es una variación muy pequeña e incluso podría decirse que son iguales.

Analizando cuantitativamente los valores de la tabla precedente, vemos que se cuantifican las variaciones a través de un factor de reducción calculado para cada dirección, el mismo que resulta ser el cociente entre el porcentaje de la deriva del edificio aislado vs. el de la estructura convencional; esto es para comparar más objetivamente las variaciones por cada piso de las derivas. Ahora bien, a través de este análisis se puede establecer que el piso que presenta una mayor reducción de la deriva es el piso cinco a

N+19.80 m con más del doble, caso que ocurre solamente en el sentido X, ya que en el sentido Y el piso que tiene la mayor reducción es el cuatro en N+15.84m, igual con un coeficiente que representa más del doble de reducción de este parámetro. En el piso dos N+7.92m es en el que menor se presentan las reducciones estas son del orden de 1.5 veces más pequeñas.

Si comparamos las diferencias entre las derivas en X respecto de las homólogas en Y, establecemos que existe una variación; ya se estableció que las derivas en Y son mayores que en X, si comparamos esta variación notamos que, ésta es el doble en la estructura convencional versus la aislada del piso seis al piso dos y que, en el piso uno esta relación se invierte y que la variación en el edificio aislado es mayor que la convencional, esto puede atribuirse a que en este piso solamente existen vigas en los dos sentidos de la edificación.

En general, se puede establecer que las derivas de piso se reducen a la mitad en porcentaje en la estructura aislada versus la tradicional, disminución que es muy considerable; esto es muy beneficioso ya que los desplazamientos absolutos y relativos están directamente relacionados con los daños en elementos estructurales y no estructurales; además que deformaciones grandes se refleja en las solicitaciones y el incremento de los esfuerzos como: momentos, cortes, torsiones, que se traducen en diseño y cantidad de materiales. Finalmente se establece que la estructura aislada es ventajosa si de desplazamientos absolutos y relativos (derivas) se trata, y que luego de un diseño adecuado de la estructura estos resultados se van a ver reflejados a través de seguridad, economía y funcionalidad.

8.4.2. ACELERACIÓN ESPECTRAL DE RESPUESTA; ESTRUCTURA AISLADA VS. ESTRUCTURA BASE FIJA

La aceleración es un indicador importante de comparación de las estructuras, ya que a través de éste se puede cuantificar como se acelera la estructura con el sismo de diseño y estimar el nivel de pánico que podría

producir en sus ocupantes, y no solo a los ocupantes sino también a los equipos y contenidos del edificio; entrega además información técnica de las ventajas de implementar este tipo de sistemas a las estructuras.

En la siguiente gama de tablas de valores y diagramas se expondrán las aceleraciones del edificio Gobernantes en su etapa convencional y su homóloga aislada, los gráficos estarán compuestos por las aceleraciones en cada modo de vibración de la estructura, como sigue:

ACELERACIÓN ESPECTRAL DE RESPUESTA, CONVENCIONAL					
<i>Espectro</i>	<i>Modo</i>	<i>Período</i>	<i>Esc Fact</i>	<i>Ux</i>	<i>Uy</i>
NEC-11	1	0,766	9,81	3,5283	3,5283
NEC-11	2	0,729	9,81	3,5704	3,5704
NEC-11	3	0,704	9,81	3,5999	3,5999
NEC-11	4	0,223	9,81	3,6042	3,6042
NEC-11	5	0,210	9,81	3,6042	3,6042
NEC-11	6	0,202	9,81	3,6042	3,6042
NEC-11	7	0,111	9,81	3,6042	3,6042
NEC-11	8	0,105	9,81	3,6042	3,6042
NEC-11	9	0,100	9,81	3,6042	3,6042
NEC-11	10	0,068	9,81	3,6042	3,6042
NEC-11	11	0,065	9,81	3,6042	3,6042
NEC-11	12	0,060	9,81	3,6042	3,6042

Tabla 8.15 Aceleración espectral de respuesta convencional, Gobernantes

ACELERACIÓN ESPECTRAL DE RESPUESTA, HDR					
<i>Espectro</i>	<i>Modo</i>	<i>Período</i>	<i>Esc Fact</i>	<i>Ux</i>	<i>Uy</i>
NEC-11	1	2,146	9,81	1,3018	1,3018
NEC-11	2	2,109	9,81	1,3237	1,3237
NEC-11	3	2,036	9,81	1,3718	1,3718
NEC-11	4	0,427	9,81	3,6042	3,6042
NEC-11	5	0,387	9,81	3,6042	3,6042
NEC-11	6	0,374	9,81	3,6042	3,6042
NEC-11	7	0,184	9,81	3,6042	3,6042
NEC-11	8	0,175	9,81	3,6042	3,6042
NEC-11	9	0,168	9,81	3,6042	3,6042

NEC-11	10	0,108	9,81	3,6042	3,6042
NEC-11	11	0,102	9,81	3,6042	3,6042
NEC-11	12	0,096	9,81	3,6042	3,6042

Tabla 8.16 Aceleración espectral de respuesta HDR, Gobernantes

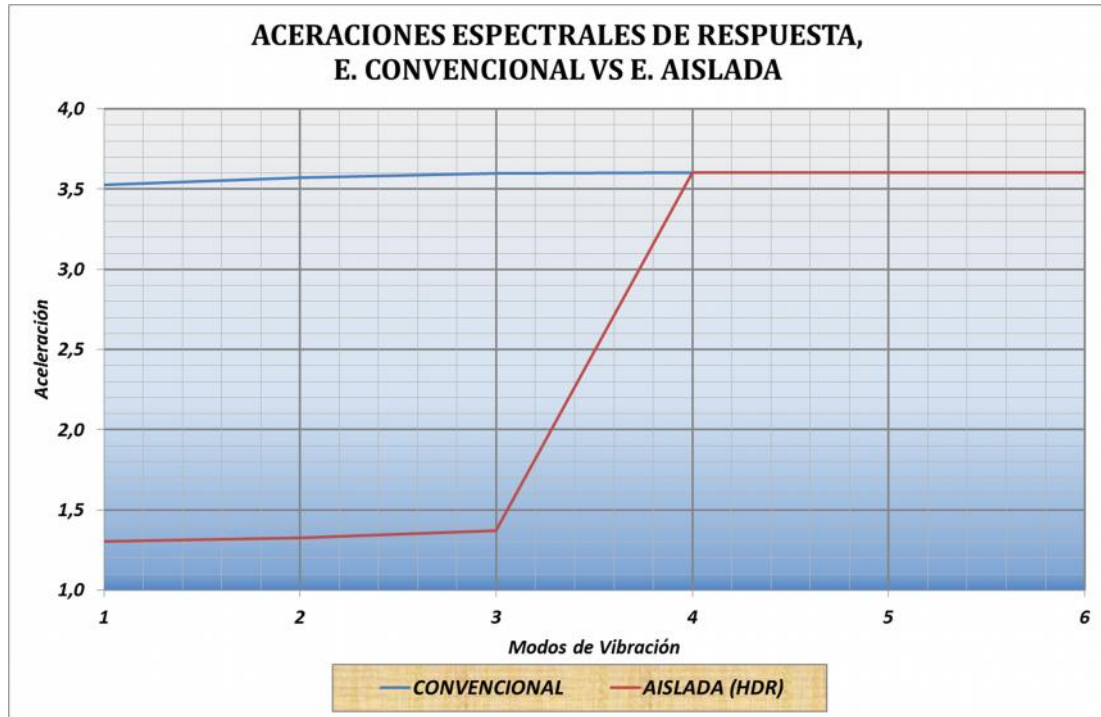


Fig.8.24. Comparación: Aceleraciones Espectrales, Aislada (HDR) vs. Convencional

Corresponde ahora comparar; primero, la estructura convencional tiene aceleraciones que son casi una constante en todos los modos de vibración, la variación es muy baja, del orden de 0.076, tiene en sus primeros modos tres aceleraciones un tanto menores pero a partir del cuarto modo se mantienen constantes. En la estructura aislada, en los tres primeros modos de vibración presenta aceleraciones más bajas que la convencional y de igual forma a partir del cuarto modo se establece una constante en 3.6042. Se ve claramente que la aceleración en la estructura aislada es menos de la mitad de su homóloga convencional; exactamente se reduce en un 62.8% en el primer modo. Cabe mencionar que la estructura vibra con una probabilidad muy alta en los tres primeros modos y no suele pasar a un cuarto o quinto.

FACTOR DE REDUCCIÓN, ACELERACION DE RESPUESTA ESPECTRAL						
Espectro	Modo	CONVENCIONAL		AISLADA (HDR)		F. DE REDUCCIÓN
		Período	$U_x=U_y$	Período	$U_x=U_y$	
NEC-11	1	0,766	3,5283	2,146	1,3018	2,71
NEC-11	2	0,729	3,5704	2,109	1,3237	2,70
NEC-11	3	0,704	3,5999	2,036	1,3718	2,62
NEC-11	4	0,223	3,6042	0,427	3,6042	1,00
NEC-11	5	0,210	3,6042	0,387	3,6042	1,00
NEC-11	6	0,202	3,6042	0,374	3,6042	1,00
NEC-11	7	0,111	3,6042	0,184	3,6042	1,00
NEC-11	8	0,105	3,6042	0,175	3,6042	1,00
NEC-11	9	0,100	3,6042	0,168	3,6042	1,00
NEC-11	10	0,068	3,6042	0,108	3,6042	1,00
NEC-11	11	0,065	3,6042	0,102	3,6042	1,00
NEC-11	12	0,060	3,6042	0,096	3,6042	1,00

Tabla 8.17 Factor de reducción, aceleración de respuesta espectral; Gobernantes

Se ve claramente que las aceleraciones de respuesta espectral, se reducen a casi al triple en los tres primeros modos de vibración, los mismos que son los más importantes, puesto que generalmente las estructuras vibran en su primero, segundo o máximo hasta el tercer modo; es muy poco probable que una edificación pase a su cuarto modo de vibrar, por eso nos centramos en los primeros solamente.

Entonces se puede mencionar que desde el punto de vista de la aceleración espectral de respuesta es beneficioso, ventajoso, seguro y hasta económico considerando que el equipamiento del edificio va a tener aceleraciones más tenues, además la carga viva es decir los ocupantes, a pesar de que la estructura se desplace más, la velocidad a la que se desplaza es menor, por lo que es un indicador de que no producirá reacciones adversas de sus ocupantes.

8.4.3. CORTANTE BASAL DE RESPUESTA; ESTRUCTURA CONVENCIONAL VS. ESTRUCTURA AISLADA (HDR).

Éste parámetro no puede faltar en este análisis, ya que el cortante basal se involucra directamente en la evaluación de esfuerzos provocados por las solicitaciones de diseño; es un indicador directo de la efectividad de la implementación de aislador tipo HDR en esta edificación.

Sin más palabras se exponen los diagramas y tablas de valores que nos permitirán evaluar cuantitativamente las diferencias del cortante entre las dos estructuras.

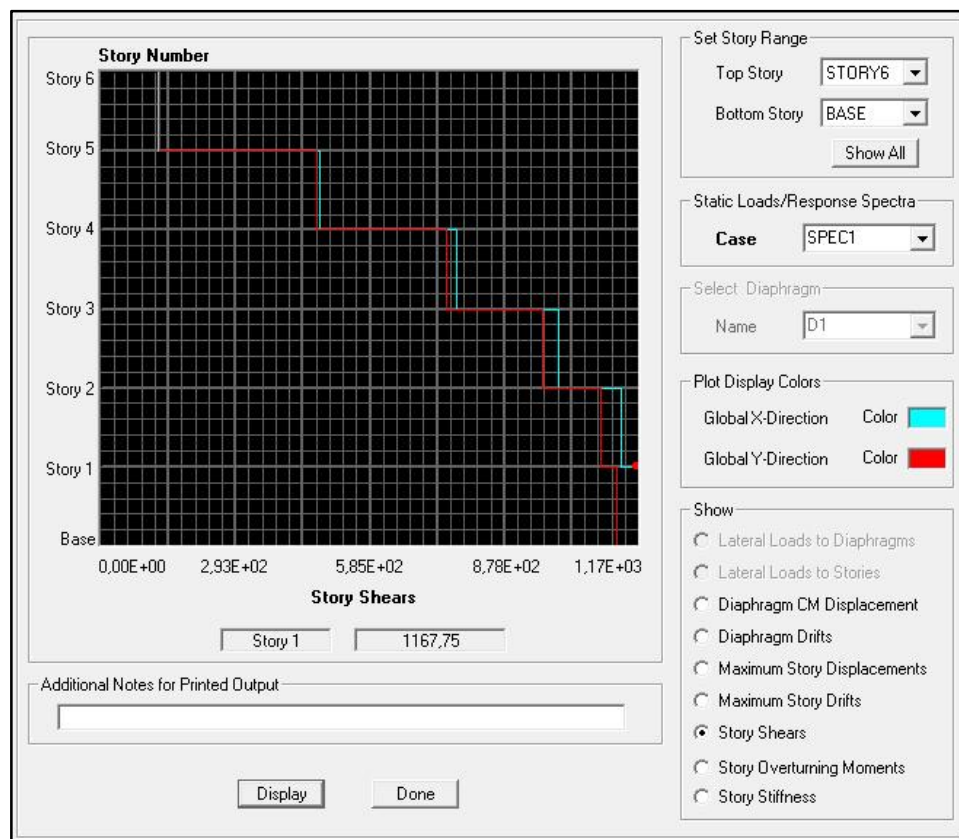


Fig.8.25. Comparación: Cortante Basal E. Convencional, Direcciones X e Y

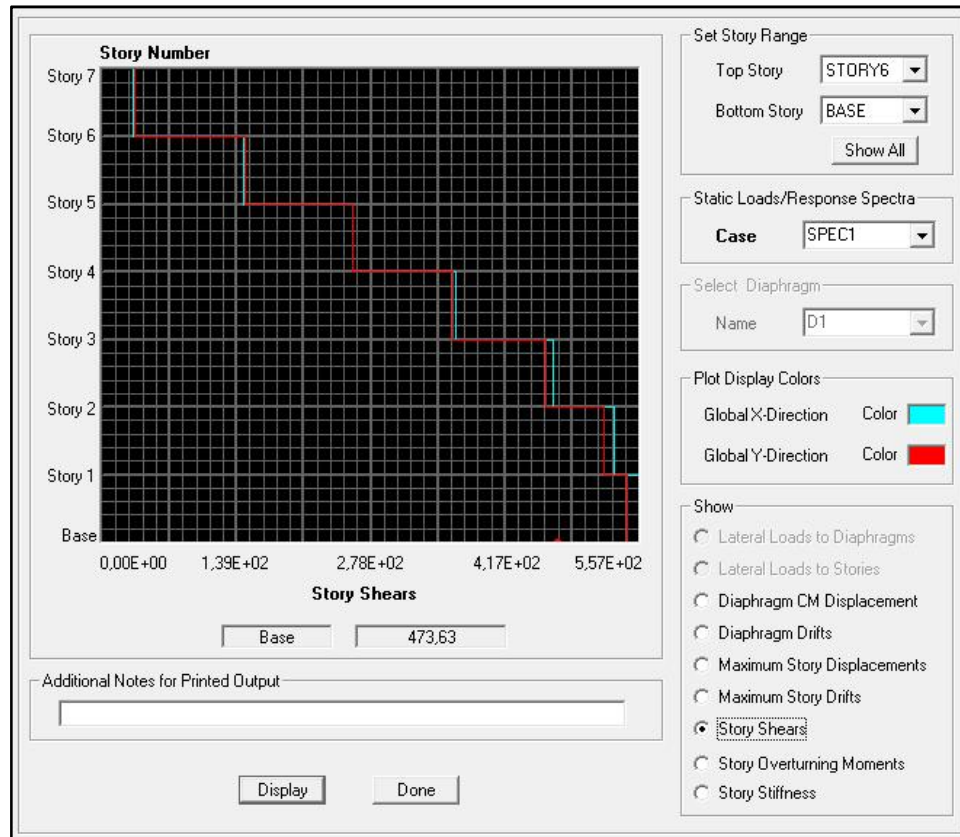


Fig.8.26. Comparación: Cortante Basal E. Aislada (HDR), Direcciones X e Y

Las figuras anteriores exponen las respuestas mencionadas en cada sentido de la estructura, y por cada nivel de la misma para el espectro de aceleraciones; cabe notar que por efecto del paquete en la E. aislada al nivel en donde se encuentran los aisladores le asigna el nombre de Story 1, es por eso que en las figuras presenta hasta Story 7, mientras el edificio tiene 6 pisos.

En los siguientes diagramas se comparan los cortantes por cada dirección y tipo de estructura, esto es: la aislada (HDR) con la de base fija.

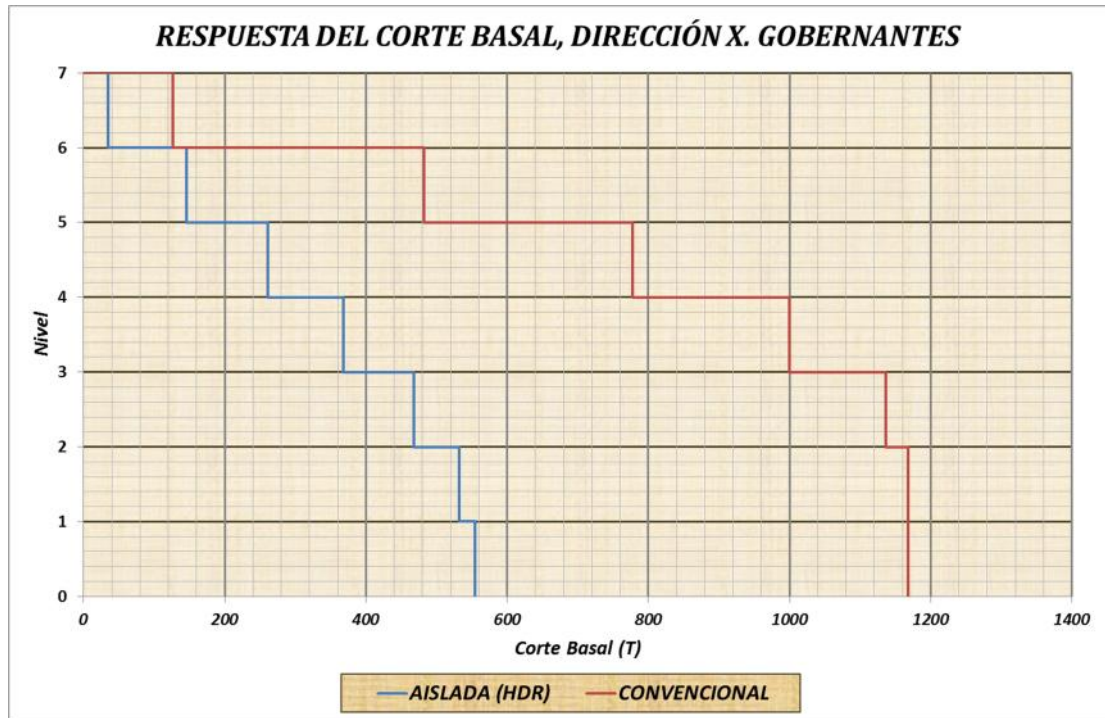


Fig.8.27 Comparación: Cortante Basal E. Aislada (HDR) y E. Convencional, Dirección X.

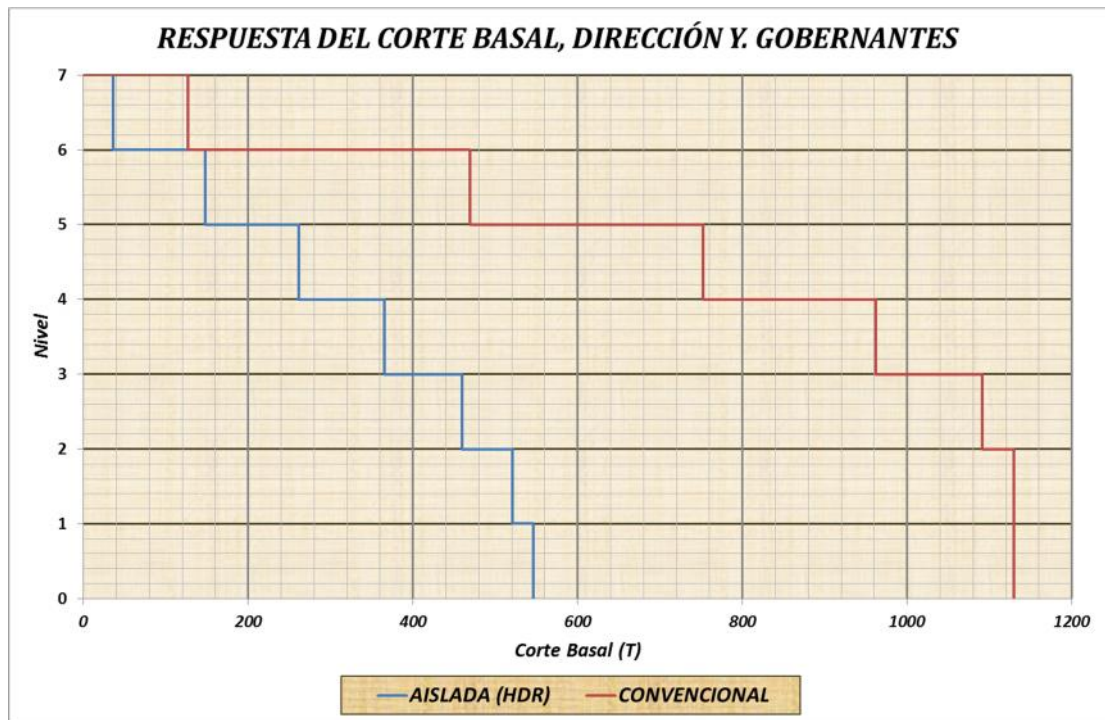


Fig.8.28. Comparación: Cortante Basal E. Aislada (HDR) y E. Convencional, Dirección Y.

En las figuras se refleja muy bien en cada sentido y por cada piso la diferencia del cortante basal que, se presenta con la implementación de la aislación en la base.

Al analizar la reacción de corte en la estructura convencional, se establece que el cortante en todos los niveles es mayor en el sentido X, en el nivel basal esta diferencia alcanza un valor de: 38.28 Ton, valor que refleja la asimetría en las rigideces en planta de la edificación. En el modelo aislado (HDR), de la misma forma es la fuerza en X la predominante con una diferencia de: 9.05 Ton, misma que comparada con el edificio convencional es pequeña.

Al analizar paralelamente las estructuras en la misma dirección se tiene que, en sentido X los valores de corte en la E. convencional son mucho mayores en todos los pisos comparado con el corte de la estructura aislada, teniendo en la base una diferencia de: 612.87 Ton, lo que representa una reducción muy importante de este parámetro; el análisis piso a piso se lo realizará más adelante y con un coeficiente que permita cuantificar esta reducción de forma más objetiva.

En el sentido Y, se refleja exactamente lo mismo, los cortes de la estructura convencional son mayores en todos los niveles a los de la estructura aislada, presentando una diferencia en su base de: 583.64 Ton, valor que es muy alto pero que no supera a la diferencia obtenida en X.

RESPUESTA DEL CORTANTE BASAL POR PISO Y SISTEMA, GOBERNANTES								
PISO	HDR		CONVENCIONAL		HDR		CONVENCIONAL	
	X	Y	X	Y	UX	UY	UX	UY
6	35,40	36,20	126,93	127,04	35,40	36,20	126,93	127,04
5	146,31	147,82	482,33	469,64	110,91	111,62	355,40	342,60
4	260,95	260,95	777,44	752,05	114,64	113,13	295,11	282,41
3	368,04	365,03	999,57	961,49	107,09	104,08	222,13	209,44
2	468,10	460,05	1136,01	1091,59	100,06	95,02	136,44	130,10
1	532,46	520,39	1167,95	1129,67	64,36	60,34	31,94	38,08
0	555,08	546,03	-	-	22,62	25,64	-	-
SUMA	-	-	-	-	555,08	546,03	1167,95	1129,67

Tabla 8.18 Respuesta del cortante basal por piso y sistema, Gobernantes

FACTOR DE REDUCCIÓN DEL CORTANTE BASAL POR PISO						
PISO	HDR		CONVENCIONAL		F. DE REDUCCIÓN	
	X	Y	X	Y	FSx	FSy
6	35,40	36,20	126,93	127,04	3,59	3,51
5	146,31	147,82	482,33	469,64	3,30	3,18
4	260,95	260,95	777,44	752,05	2,98	2,88
3	368,04	365,03	999,57	961,49	2,72	2,63
2	468,10	460,05	1136,01	1091,59	2,43	2,37
1	532,46	520,39	1167,95	1129,67	2,19	2,17
0	555,08	546,03	1167,95	1129,67	2,10	2,07

Tabla 8.19 Factor de reducción del cortante basal por piso

Corresponde ahora comparar los incrementos de corte que recibe la estructura por cada piso y claro, se ve que en todos los niveles la estructura aislada tiene menor valor de corte basal parcial en los dos sentidos, manteniéndose que en sentido X los valores son un tanto menores.

Estableciendo un factor de reducción que será igual a la relación entre el cortante acumulado de la estructura convencional y el de la aislada tenemos que, desde el piso seis hacia abajo el factor disminuye levemente en las dos direcciones; se refleja aquí que el cortante se reduce hasta casi la cuarta parte en los niveles superiores, a la tercera parte en los niveles medios y a la mitad en los niveles bajos, esto se cumple en las direcciones X e Y, la notable reducción de esta fuerza lateral es muy fructuoso para el edificio ya que de esta manera se disminuyen de forma importante los esfuerzos en los elementos estructurales del edificio.

Con la importante reducción que se produce el edificio tiene una mayor protección y menores costos por daños, ya que los elementos estructurales están menos solicitados manteniéndose en el rango elástico, además la reducción de la demanda de esfuerzos permite, si se desea disminuir las

secciones de los elementos y sus armaduras, con la consecuente disminución de costos adicionales por este motivo.

Se presenta además dos diagramas que representan el cortante acumulado en el nivel basal, para que de una forma gráfica se note la diferencia de estas fuerzas en cada sentido.



Fig.8.29. Comparación: Cortante Basal N+00 E. Aislada (HDR) y E. Convencional, Dirección X.

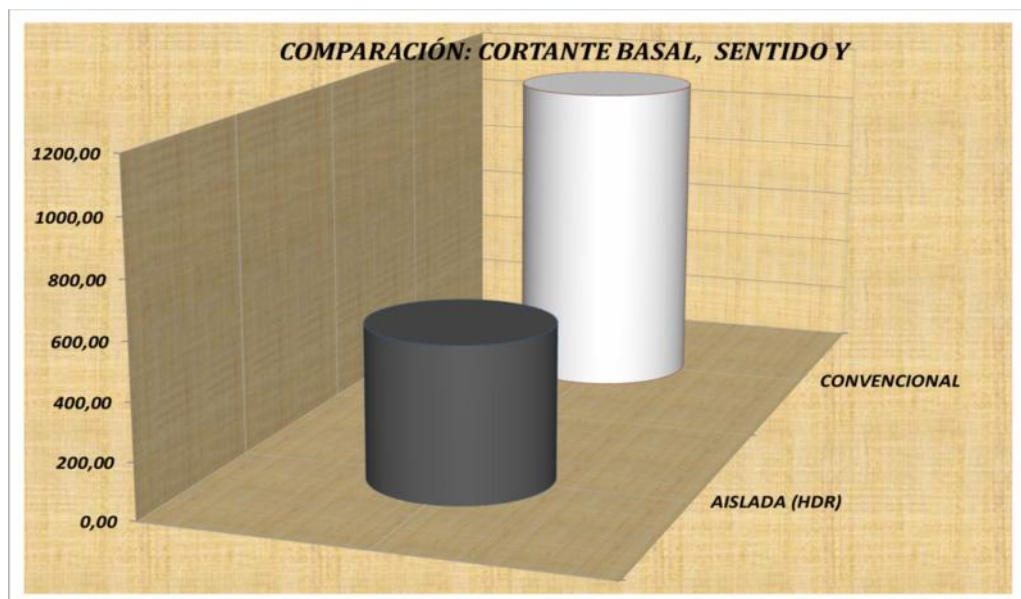


Fig.8.30. Comparación: Cortante Basal N+00 E. Aislada (HDR) y E. Convencional, Dirección Y

Después de haber realizado el análisis comparativo de respuesta, entre el edificio Gobernantes Aislado con el sistema HDR y el edificio Gobernantes base fija, considerando como puntos de estudio los principales parámetros que representan el comportamiento de una estructura, sin excluir con esto la posibilidad de realizar más estudios con otros parámetros que sean de interés, se puede concluir que desde todo punto de vista implementar un sistema de aislación en el Edificio Gobernantes, tiene abundantes beneficios; se logra disminuir la demanda sísmica, controlando los inconvenientes que genera el sismo estudiado para el caso, tradicional o de base fija, los niveles de desplazamiento relativo se disminuyen en más de 3 veces, las altas aceleraciones se reducen en casi 3 veces y la fuerza lateral en más de 3 veces; lo que se traduce en un mejor comportamiento sísmico y un alto nivel de seguridad estructural durante un sismo como el estudiado, ya que se minimizan los daños de la estructura misma, de sus contenidos y se mantiene la funcionalidad post-sismo.

8.5. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA AISLADA

En esta sección del presente trabajo de investigación, se reflejará cuantitativamente las ventajas de la aislación, esto es en secciones de hormigón y cuantías de acero.

Para realizar el diseño se utilizan las normas antes expuestas, es decir la NCh-2745, NCh-433, NEC-11 capítulo dos, NEC-11 capítulo cuatro, ACI318-08; las cuales entregan las disposiciones para el diseño sísmico de edificios que cuenten con aislación sísmica y de hormigón armado, la implementación de ésta filosofía de diseño podría convertir a Ecuador, en uno de los pocos países a nivel mundial que poseen requisitos y consideraciones para las estructuras con aislación basal.

La mayoría de las consideraciones necesarias para realizar el diseño ya se encuentran mencionadas, tanto en la sección en donde se eligió el sistema

aislante, como donde se realizó la comparación de comportamiento entre la estructura aislada y convencional, ante lo cual para no ser reiterativo sólo se mencionarán y se entregará su ubicación; para consideraciones adicionales o factores que sean necesarios se explicarán en esta sección.

Para efectos de diseño se consideraron las mismas combinaciones de carga que se utilizaron en el diseño de la estructura convencional, que por lo demás son las que estipula el ACI318-08, y para el caso aislado se utiliza como carga sísmica el espectro establecido en la NEC-11, todos los parámetros necesarios para establecer el espectro, ya sea por zona sísmica, tipo de suelo y otros, ya fueron definidos o mencionados en el capítulo cinco, en las tablas y diagramas correspondientes.

Cabe resaltar que la NCh-2745 permite una reducción del espectro de respuesta para el análisis de las estructuras con base aislada, lo que significa una reducción de aproximadamente 20 %, pero en el caso de Gobernantes se mantiene el espectro original por considerarlo más crítico y por el nivel de incertidumbre generado en algunos parámetros que no se ajustan a la realidad del Ecuador.

Las fuerzas sísmicas laterales mínimas establecidas en la **NCh-2745** son las siguientes: V_b que corresponde a la fuerza lateral mínima para el sistema de aislación y todos los elementos que se encuentran bajo el sistema, y V_s que corresponde a todos los elementos estructurales que se encuentran sobre el sistema de aislación, pero por ningún motivo el valor de V_s debe ser menor que lo siguiente:

- a.- La fuerza lateral sísmica requerida por la NEC-11, para una estructura de base fija del mismo peso W y un período igual al de la estructura aislada.
- b.- El esfuerzo de corte basal correspondiente a la carga de diseño de viento.
- c.- La fuerza lateral sísmica requerida para activar completamente el sistema de aislación mayorada por 1,5 veces (es decir, una vez y medio el nivel de

fluencia del sistema, la capacidad última de un sistema de sacrificio ante cargas de viento o el nivel de fricción estática de un sistema deslizante).

La condición más crítica para este caso sería la primera, por tanto se calculará lo correspondiente como sigue:

CALCULO DE COEFICIENTE SISMICO, E. Aislada (HDR)

PARÁMETROS

Z=	0,4		Ct=	0,047	
I=	1,5		hn=	23,76	m
Suelo:	C	Tabla 4,13	α=	0,9	
Fa=	1,2	Tabla 4,10	n=	2,48	
Fs=	1,3	Tabla 4,12			
Fd=	1,3	Tabla 4,11			

PERÍODOS:

$$T_c = 0,55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0,775 \text{ s}$$

$$T = C_t * h_n^{\alpha}$$

$$T = 2,15 \text{ s}$$

COMPARACIÓN:

$$\begin{matrix} T_c & \text{vs.} & T \\ 0,775 & < & 2,2 \end{matrix} \rightarrow S_a = \eta * Z * F_a * \frac{T_c}{T}$$

$$S_a = 0,429$$

COEFICIENTE:

R=	6	Tabla 4,6
φp=	0,9	Tabla 4,8
φe=	0,9	Tabla 4,9

$$\text{Coef} = \frac{S_a * I}{R * \phi_p * \phi_e}$$

$$\text{Coef} = 0,13 \text{ en cada sentido}$$

CORTANTE BASAL DE DISEÑO

$$V = \text{Coef} * W$$

$$V = 0,13 * 3796,07$$

$$V = 502,5 \text{ Ton}$$

Este valor de cortante debe ser menor al del modelo de la estructura aplicado la NEC-11 en el análisis dinámico de Gobernantes con el sistema HDR, entonces:

$$V > V_{min} \quad V_{min}=502.5 \text{ Ton}$$

$$V_x= 555.08 \text{ Ton} > V_{min}=502.5 \text{ ton} \quad OK$$

$$V_y= 546.03 \text{ Ton} > V_{min}=502.5 \text{ ton} \quad OK$$

No tenemos inconvenientes en ninguna dirección por lo tanto procedemos con el diseño de la estructura aislada en base al modelo espectral propuesto. Se exponen a continuación una variedad de gráficos en donde constan las áreas de acero por pórticos del modelo aislado.

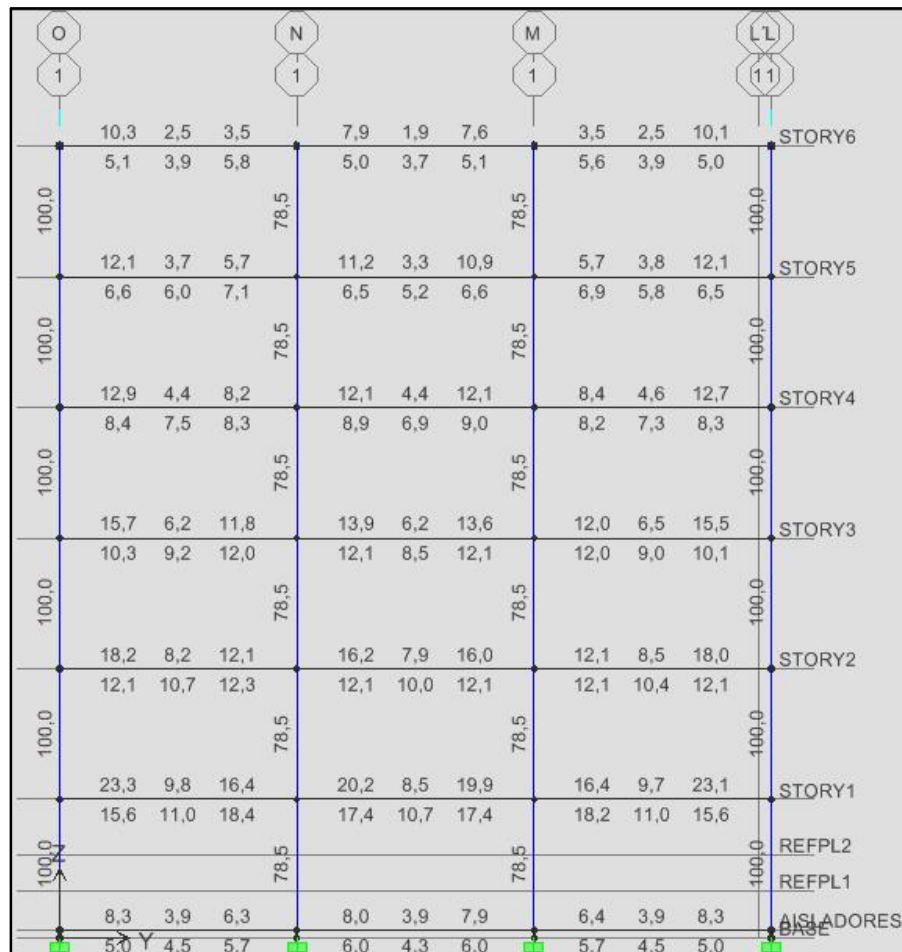


Fig.8.31. Acero en Pórtico 1, Sentido Y, Gobernantes (HDR)

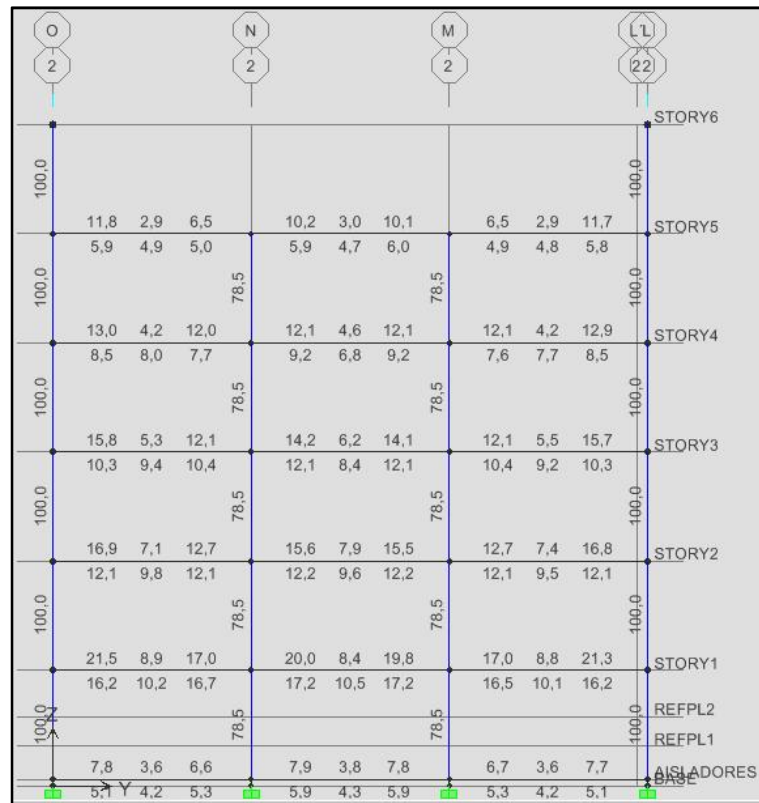


Fig.8.32. Acero en Pórtico 2, Sentido Y, Gobernantes (HDR)

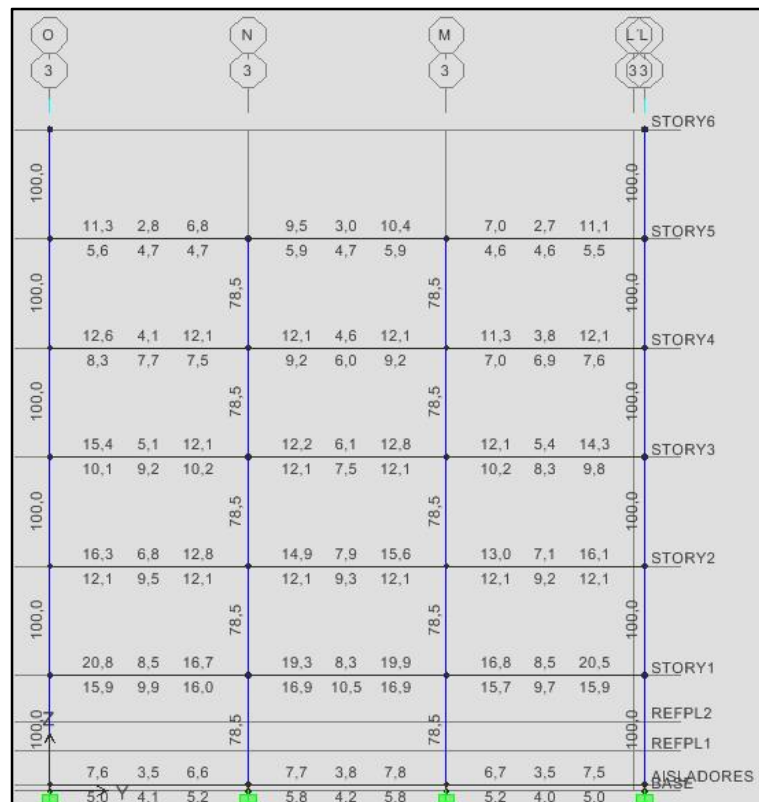


Fig.8.33. Acero en Pórtico 3, Sentido Y, Gobernantes (HDR)

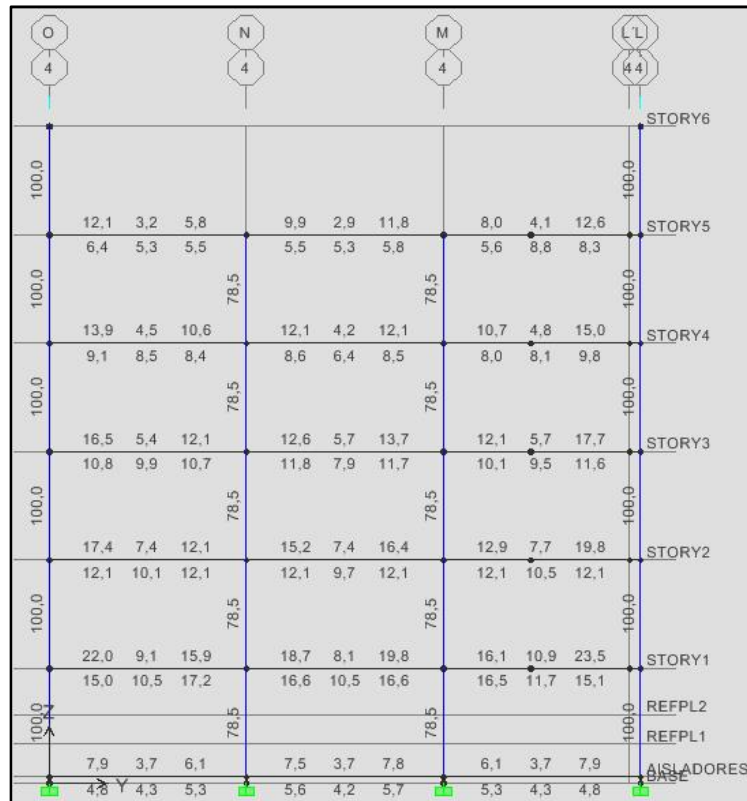


Fig.8.34. Acero en Pórtico 4, Sentido Y, Gobernantes (HDR)

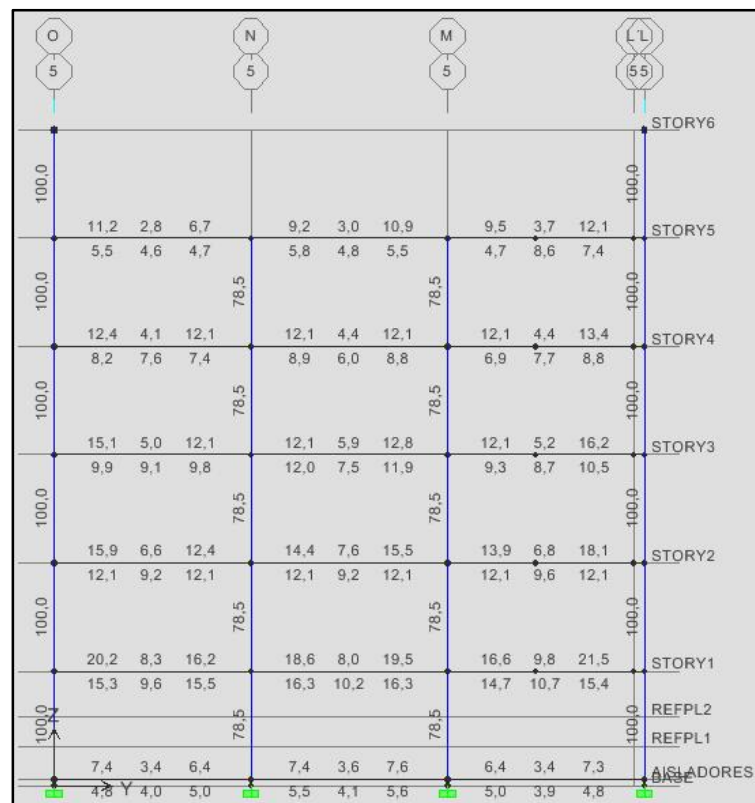


Fig.8.35. Acero en Pórtico 5, Sentido Y, Gobernantes (HDR)

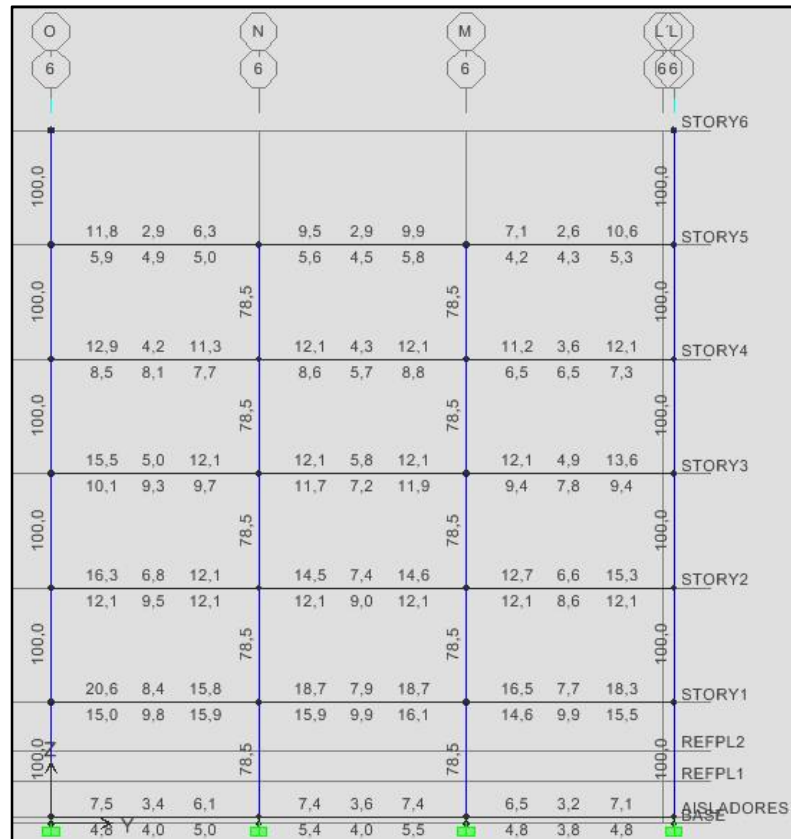


Fig.8.36. Acero en Pórtico 6, Sentido Y, Gobernantes (HDR)

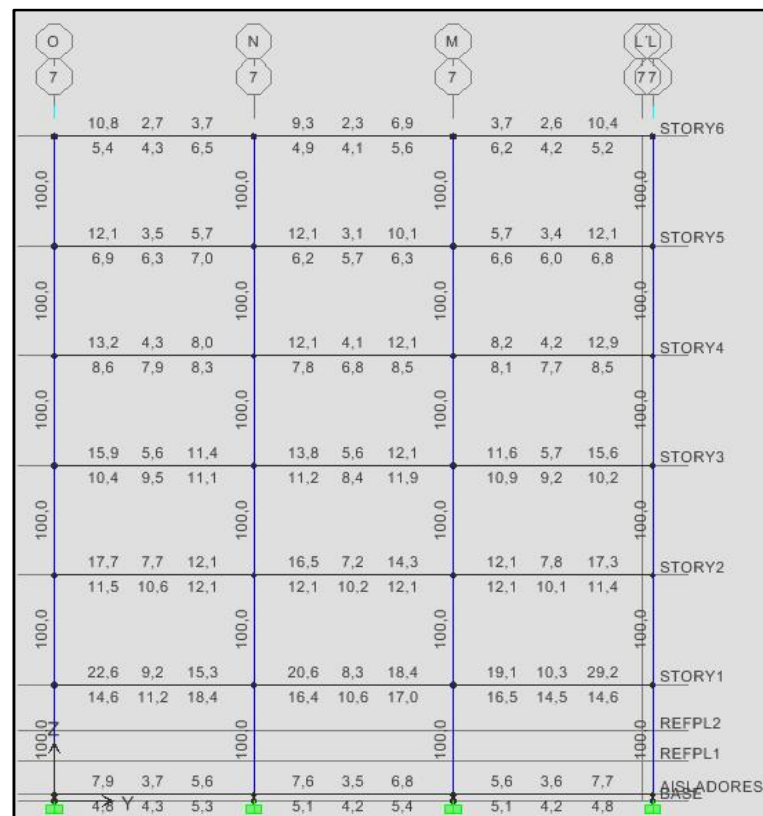
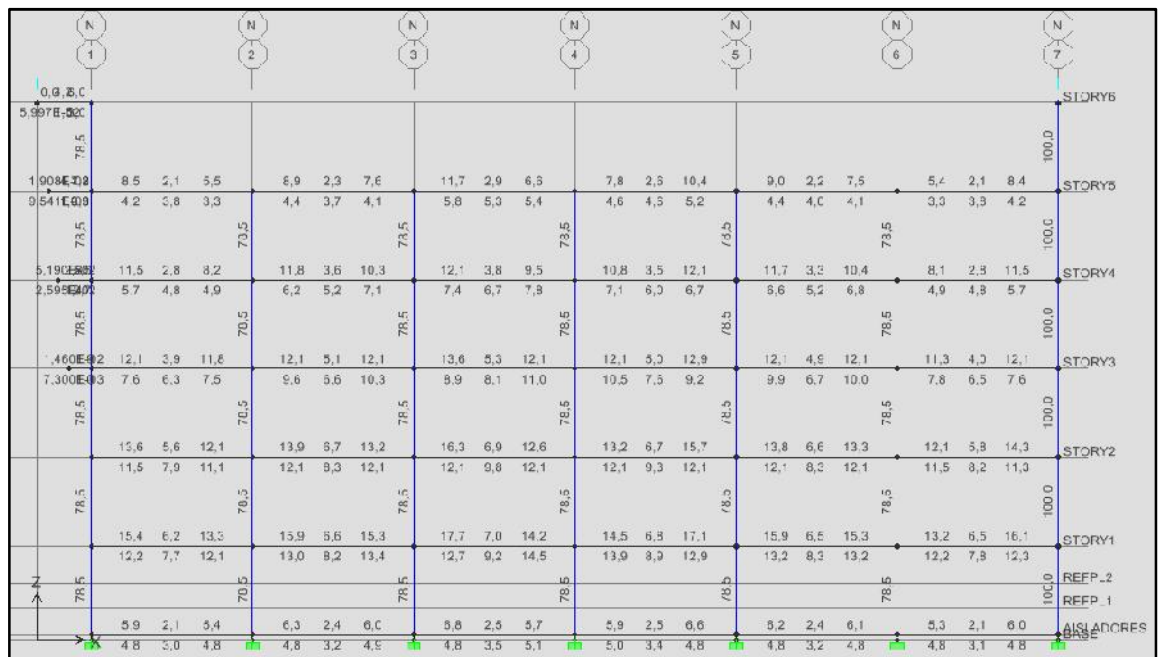
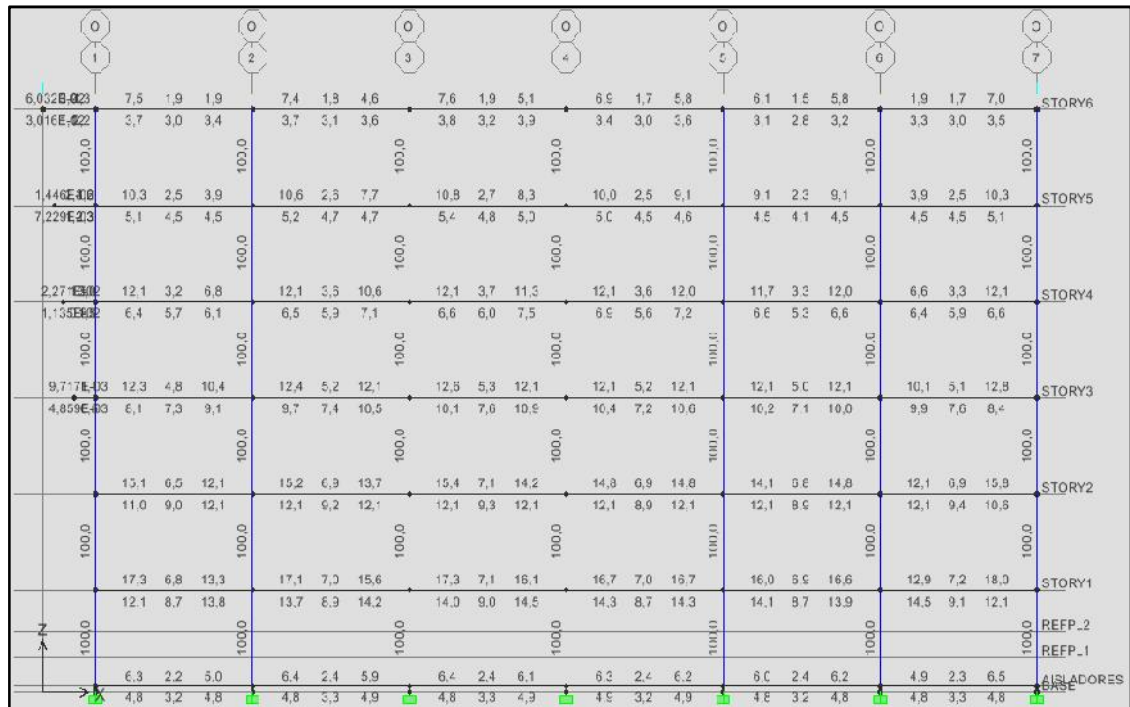


Fig.8.37. Acero en Pórtico 7, Sentido Y, Gobernantes (HDR)



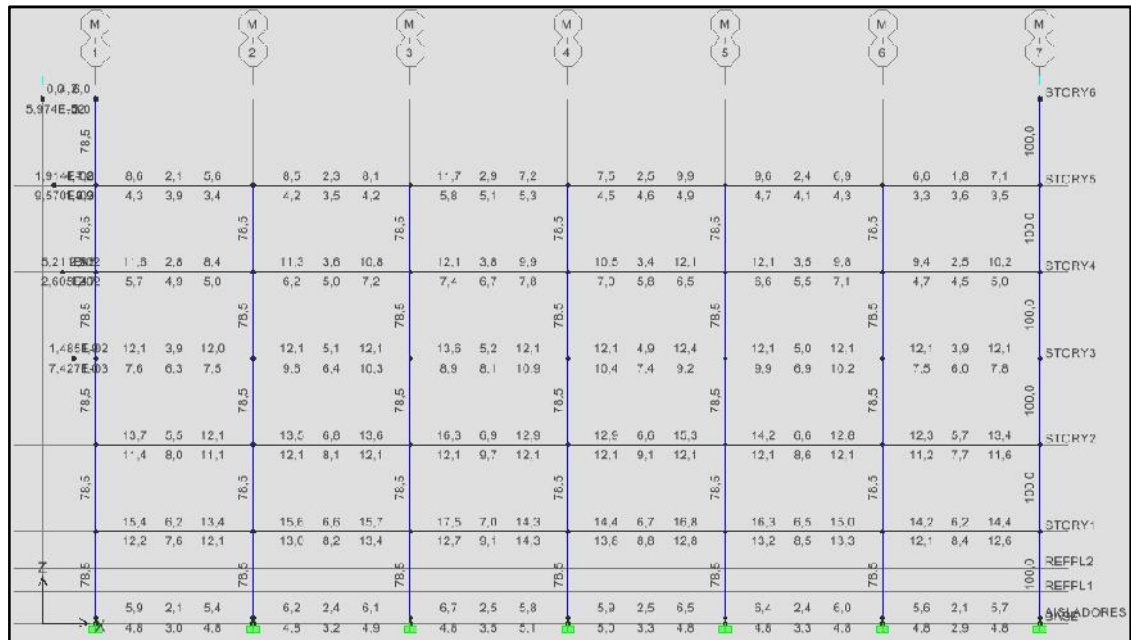


Fig.8.40. Acero en Pórtico M, Sentido X, Gobernantes (HDR)

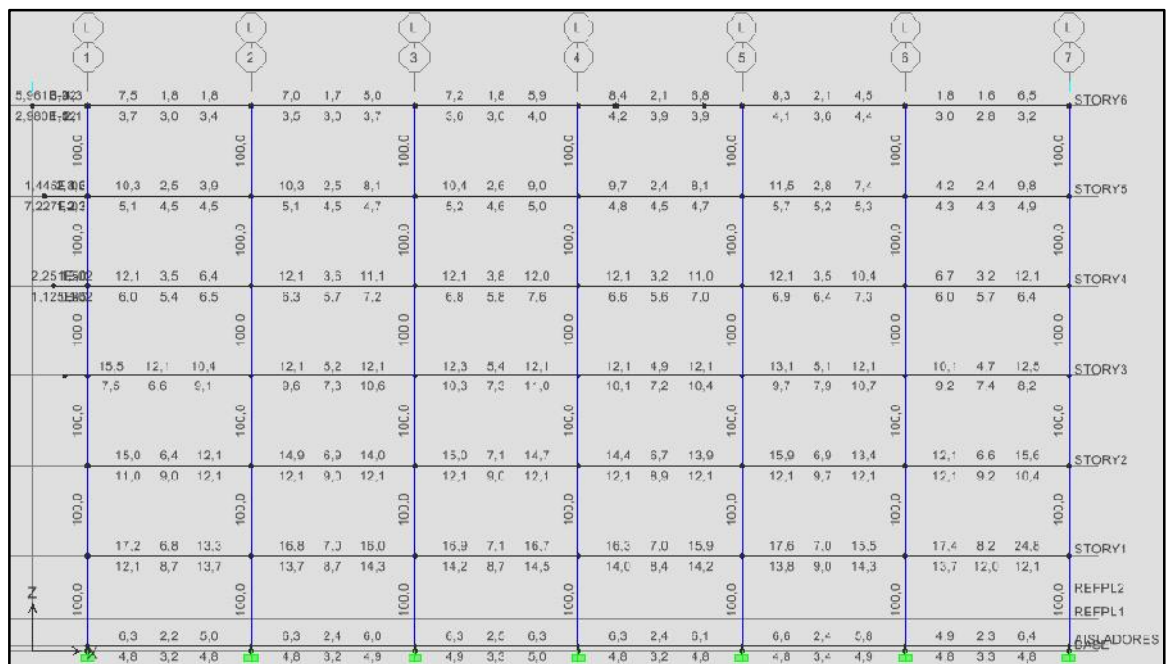


Fig.8.41. Acero en Pórtico L, Sentido X, Gobernantes (HDR)

Una vez planteado el acero en todos los pórticos del edificio, procedemos a obtener el pórtico más crítico en cada dirección, se tomarán en cuenta dos pórticos para cada dirección, el uno interno y un segundo perimetral para que el diseño sea más óptimo y económico. En el diseño de la estructura convencional (capítulo seis), se estableció un pórtico crítico por sentido,

hace falta entonces establecer el segundo pórtico. Luego, se presentará una tabla de cantidades de acero para finalmente exponer las armaduras que se dispondrán en los elementos estructurales.

a.- Solicitaciones en vigas:

PORTICO 1				PORTICO 4			
NIVEL	TORSION Ton	V22 Ton	M33 T-m	NIVEL	TORSION Ton	V22 Ton	M33 T-m
6	0,61	10,20	20,82	6	-	-	-
5	0,11	10,70	26,94	5	1,17	17,86	33,56
4	0,23	16,84	34,12	4	0,90	20,58	39,48
3	0,20	19,75	41,35	3	1,16	22,79	46,51
2	0,28	20,79	47,59	2	1,33	22,91	51,72
1	0,46	23,22	60,85	1	2,76	25,28	61,29
0	0,05	5,15	14,17	0	0,07	4,95	13,44

PORTICO M				PORTICO L			
NIVEL	TORSION Ton	V22 Ton	M33 T-m	NIVEL	TORSION Ton	V22 Ton	M33 T-m
6	-	-	-	6	0,52	8,25	15,13
5	0,10	12,25	23,55	5	0,17	12,22	21,04
4	0,16	14,47	30,15	4	0,15	13,85	25,97
3	0,20	16,43	36,05	3	0,17	16,91	40,62
2	0,22	18,72	42,92	2	0,33	18,85	42,01
1	0,26	18,30	46,02	1	0,61	18,27	46,05
0	0,05	4,75	11,59	0	0,07	4,66	11,29

Tabla 8.20 Solicitaciones en vigas; Pórticos 1, 4, L, M

b.- Solicitaciones en columnas:

NIVEL	COLUMNA CUADRADA				COLUMNA CIRCULAR			
	Axial	Vmax	M22	M33	Axial	Vmax	M22	M33
	Ton	Ton	T-m	T-m	Ton	Ton	T-m	T-m
6	38,68	10,49	22,48	13,87	29,01	13,64	25,07	12,73
5	95,49	4,83	26,33	17,72	93,98	9,85	19,16	12,53
4	154,92	13,94	38,56	27,12	166,12	16,71	32,11	17,73
3	214,15	15,51	40,36	32,95	233,81	19,93	36,41	22,61
2	273,24	14,88	38,91	38,92	298,20	27,26	47,03	28,44
1	321,41	19,50	49,26	42,64	335,84	23,81	53,75	30,11

Tabla 8.21 Solicitaciones en columnas cuadrada y circular

c.- Cantidad de acero en varillas por elemento estructural:

Para el diseño de las vigas se ha tomado dos pórticos representativos en cada sentido, ya que la estructura es regular y simétrica en cada sentido, los resultados del diseño en las vigas por pórticos son los siguientes:

DISEÑO ESTRUCTURA AISLADA						
NIVEL	SECCION	DIM.	PORTICO 1			
		(cm)	Armadura Superior	Armadura Inferior	Arm. Apoyo Sup. en	Armadura por Corte
6	Rectangular	50x75	2 Φ 22 + 2 Φ 16	2 Φ 22 + 2 Φ 16	-	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	11,62	11,62	-	-
5	Rectangular	50x75	2 Φ 24 + 2 Φ 16	2 Φ 24 + 2 Φ 16	-	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	13,07	13,07	-	-
4	Rectangular	50x75	2 Φ 24 + 2 Φ 16	2 Φ 22 + 2 Φ 16	-	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	13,07	11,62	-	-
3	Rectangular	50x75	2 Φ 22 + 2 Φ 16	2 Φ 24 + 2 Φ 16	1 Φ 24	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	11,62	13,07	4,52	-
2	Rectangular	50x75	2 Φ 22 + 2 Φ 16	2 Φ 24 + 2 Φ 16	2 Φ 20	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	11,62	13,07	6,28	-
1	Rectangular	60x75	2 Φ 22 + 2 Φ 16	4 Φ 24	3 Φ 22	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	11,62	18,10	11,40	-
0	Rectangular	30x50	2 Φ 16	3 Φ 16	2 Φ 16	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20

		Área (cm)	4,02	6,03	4,02	-
--	--	-----------	------	------	------	---

Tabla 8.22 Diseño de estructura aislada; Pórtico 1

NIVEL	SECCION	DIM.	PORTICO 4			
		(cm)	Armadura Superior	Armadura Inferior	Arm. en Apoyo Sup.	Armadura por Corte
5	Rectangular	50x75	2 Φ 24 + 2 Φ 16	2 Φ 22 + 2 Φ 16	-	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	13,07	11,62	-	-
4	Rectangular	50x75	2 Φ 22 + 2 Φ 16	2 Φ 22 + 2 Φ 16	1 Φ 16	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	11,62	11,62	2,01	-
3	Rectangular	50x75	2 Φ 24 + 2 Φ 16	2 Φ 22 + 2 Φ 16	2 Φ 16	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	13,07	11,62	4,02	-
2	Rectangular	50x75	2 Φ 22 + 2 Φ 16	2 Φ 24 + 2 Φ 16	2 Φ 20	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	11,62	13,07	6,28	-
1	Rectangular	60x75	2 Φ 22 + 2 Φ 16	2 Φ 24 + 2 Φ 22	3 Φ 22	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	11,62	16,65	11,40	-
0	Rectangular	30x50	2 Φ 16	3 Φ 16	2 Φ 16	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	4,02	6,03	4,02	-

Tabla 8.23 Diseño de estructura aislada; Pórtico 4

NIVEL	SECCION	DIM.	PORTICO M			
		(cm)	Armadura Superior	Armadura Inferior	Arm. en Apoyo Sup.	Armadura por Corte
5	Rectangular	50x75	2 Φ 22 + 2 Φ 16	2 Φ 22 + 2 Φ 16	-	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	11,62	11,62	-	-
4	Rectangular	50x75	2 Φ 22 + 2 Φ 16	2 Φ 22 + 2 Φ 16	-	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	11,62	11,62	-	-
3	Rectangular	50x75	2 Φ 24 + 2 Φ 16	2 Φ 22 + 2 Φ 16	-	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	13,07	11,62	-	-
2	Rectangular	50x75	2 Φ 22 + 2 Φ 16	2 Φ 24 + 2 Φ 16	2 Φ 16	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	11,62	13,07	4,02	-
1	Rectangular	60x75	2 Φ 22 + 2 Φ 16	2 Φ 24 + 2 Φ 16	2 Φ 16	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	11,62	13,07	4,02	-
0	Rectangular	30x50	2 Φ 16	3 Φ 16	2 Φ 16	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	4,02	6,03	4,02	-

Tabla 8.24 Diseño de estructura aislada; Pórtico M

NIVEL	SECCION	DIM.	PORTICO L			
		(cm)	Armadura Superior	Armadura Inferior	Arm. en Apoyo Sup.	Armadura por Corte
6	Rectangular	50x75	2 Φ 22 + 2 Φ 16	2 Φ 22 + 2 Φ 16	-	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	11,62	11,62	-	-
5	Rectangular	50x75	2 Φ 22 + 2 Φ 16	2 Φ 22 + 2 Φ 16	-	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	11,62	11,62	-	-
4	Rectangular	50x75	2 Φ 24 + 2 Φ 16	2 Φ 22 + 2 Φ 16	-	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	13,07	11,62	0,00	-
3	Rectangular	50x75	2 Φ 22 + 2 Φ 16	2 Φ 22 + 2 Φ 16	2 Φ 16	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	11,62	11,62	4,02	-
2	Rectangular	50x75	2 Φ 22 + 2 Φ 16	2 Φ 24 + 2 Φ 16	2 Φ 16	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	11,62	13,07	4,02	-
1	Rectangular	60x75	2 Φ 24 + 2 Φ 16	2 Φ 22 + 2 Φ 20	2 Φ 16	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	13,07	13,88	4,02	-
0	Rectangular	30x50	2 Φ 16	3 Φ 16	2 Φ 16	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	4,02	6,03	4,02	-

Tabla 8.25 Diseño de estructura aislada; Pórtico L

En las columnas se ha tomado dos tipos, una circular y la otra de sección cuadrada, y las dos están armadas con la cuantía mínima, respectivamente las tablas de diseño son:

DISEÑO ESTRUCTURA AISLADA			
NIVEL	DIM.	COLUMNA CUADRADA	
	(cm)	Armadura Longitudinal	Armadura Corte al
6	100X100	8 Φ 32 + 8 Φ 24	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
	Área (cm)	100,50	-
5	100X100	8 Φ 32 + 8 Φ 24	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
	Área (cm)	100,50	-
4	100X100	8 Φ 32 + 8 Φ 24	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
	Área (cm)	100,50	-
3	100X100	8 Φ 32 + 8 Φ 24	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
	Área (cm)	100,50	-
2	100X100	8 Φ 32 + 8 Φ 24	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
	Área (cm)	100,50	-
1	100X100	8 Φ 32 + 8 Φ 24	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
	Área (cm)	100,50	-
0	100X100	8 Φ 32 + 8 Φ 24	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
	Área (cm)	100,50	-
NIVEL	DIAM.	COLUMNA CIRCULAR	
	(cm)	Armadura Longitudinal	Armadura Corte al
6	100	16 Φ 25	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
	Área (cm)	78,56	-
5	100	16 Φ 25	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
	Área (cm)	78,56	-

4	100	16 Φ 25	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
	Área (cm)	78,56	-
3	100	16 Φ 25	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
	Área (cm)	78,56	-
2	100	16 Φ 25	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
	Área (cm)	78,56	-
1	100	16 Φ 25	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
	Área (cm)	78,56	-
0	100	16 Φ 25	1 Φ 10 @ 0,10 y 0,20
	Área (cm)	78,56	-

Tabla 8.26 Diseño de estructura aislada; Columnas cuadrada y circular

En las vigas se mencionó que están diseñados los pórtico tipo, lo que quiere decir que las vigas son de armado igual, con la siguiente correspondencia; en el sentido X, se armarán igual los pórticos L y O; también los pórticos M y N. En el sentido Y de la estructura se armarán igual los pórticos 1, 2, 6, 7; y los pórticos 4, 3, 5. Quedando de esta forma armada toda estructura en cuando a vigas se refiere.

En las columnas se armarán igual todas las columnas cuadradas, y de la misma forma las circulares como se tiene en la tabla precedente. Así damos cumplimiento al diseño en hormigón armado de todos los elementos estructurales del edificio Gobernantes.

8.6. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO AISLADO (HDR) VERSUS EL DISEÑO CONVENCIONAL NEC-11

En esta sección culminante del capítulo, se analizará detenidamente cual es la variación de la armadura por flexión y corte que presenta cada elemento estructural en los modelos Aislado HDR VS. Análisis Dinámico NEC-11; cabe resaltar que el modelo aislado se ejecutó con las mismas secciones del

modelo NEC-11 justo para tener parámetros de comparación coherentes y adecuados.

Antes de proseguir con el análisis como de costumbre y para que sea más dinámico e ilustrativo, se presentan tablas de diseño donde constan los diseños aislado y convencional NEC-11 en forma paralela.

COMPARACIÓN			DISEÑO ESTRUCTURA AISLADA			DISEÑO ESTRUCTURA NEC-11		
NIVEL	SECCION	DIM.	PORTICO 1			PORTICO 1		
		(cm)	Armadura Superior	Armadura Inferior	Arm. en Apoyo Sup.	Armadura Superior	Armadura Inferior	Arm. en Apoyo Sup.
6	Rectangular	50x75	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	-	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	4 ϕ 20	1 ϕ 16
		Área (cm)	11,62	11,62	-	11,62	12,57	2,10
5	Rectangular	50x75	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	-	3 ϕ 20	4 ϕ 22	2 ϕ 24
		Área (cm)	13,07	13,07	-	9,42	15,21	9,05
4	Rectangular	50x75	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	-	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	3 ϕ 24 + 2 ϕ 20	4 ϕ 20
		Área (cm)	13,07	11,62	-	11,62	19,85	12,57
3	Rectangular	50x75	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	1 ϕ 24	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	3 ϕ 24 + 3 ϕ 22	2 ϕ 24 + 2 ϕ 22
		Área (cm)	11,62	13,07	4,52	13,07	24,97	16,65
2	Rectangular	50x75	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	2 ϕ 20	4 ϕ 24	4 ϕ 24 + 2 ϕ 22	4 ϕ 20
		Área (cm)	11,62	13,07	6,28	18,10	25,70	12,57
1	Rectangular	60x75	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	4 ϕ 24	3 ϕ 22	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	5 ϕ 24	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16
		Área (cm)	11,62	18,10	11,40	13,07	22,62	13,07
NIVEL	SECCION	DIM.	PORTICO 4			PORTICO 4		
		(cm)	Armadura Superior	Armadura Inferior	Arm. en Apoyo Sup.	Armadura Superior	Armadura Inferior	Arm. en Apoyo Sup.
5	Rectangular	50x75	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	-	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	4 ϕ 20	2 ϕ 20
		Área (cm)	13,07	11,62	-	11,62	12,57	6,28
4	Rectangular	50x75	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	1 ϕ 16	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 24 + 2 ϕ 22	4 ϕ 20
		Área (cm)	11,62	11,62	2,01	11,62	16,65	12,57
3	Rectangular	50x75	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 16	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	3 ϕ 24 + 2 ϕ 22	2 ϕ 24 + 2 ϕ 22
		Área (cm)	13,07	11,62	4,02	13,07	21,17	16,65
2	Rectangular	50x75	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	2 ϕ 20	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	3 ϕ 24 + 2 ϕ 22	2 ϕ 24 + 2 ϕ 22
		Área (cm)	11,62	13,07	6,28	13,07	21,17	16,65
1	Rectangular	60x75	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 24 + 2 ϕ 22	3 ϕ 22	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	3 ϕ 24 + 2 ϕ 20	4 ϕ 20
		Área (cm)	11,62	16,65	11,40	11,62	19,90	12,57

Tabla 8.27 Comparación: Diseño estructura aislada y Diseño estructura NEC-11; Pórtico 1, 4

COMPARACIÓN			DISEÑO ESTRUCTURA AISLADA			DISEÑO ESTRUCTURA NEC-11		
NIVEL	SECCION	DIM.	PORTICO M			PORTICO M		
		(cm)	Armadura Superior	Armadura Inferior	Arm. en Apoyo Sup.	Armadura Superior	Armadura Inferior	Arm. en Apoyo Sup.
5	Rectangular	50x75	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	-	2 ϕ 22 + 2 ϕ 20	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	-
		Área (cm)	11,62	11,62	-	13,90	11,62	-
4	Rectangular	50x75	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	-	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	4 ϕ 20 + 1 ϕ 16	2 ϕ 22
		Área (cm)	11,62	11,62	-	11,62	26,40	7,60
3	Rectangular	50x75	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	-	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 24 + 3 ϕ 20	2 ϕ 24 + 1 ϕ 20
		Área (cm)	13,07	11,62	-	11,62	18,47	12,19
2	Rectangular	50x75	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	2 ϕ 16	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	3 ϕ 24 + 2 ϕ 22	2 ϕ 22 + 2 ϕ 20
		Área (cm)	11,62	13,07	4,02	13,07	21,17	13,88
1	Rectangular	60x75	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	2 ϕ 16	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 22 + 3 ϕ 20	2 ϕ 16 + 1 ϕ 20
		Área (cm)	11,62	13,07	4,02	11,62	17,02	7,16
NIVEL	SECCION	DIM.	PORTICO L			PORTICO L		
		(cm)	Armadura Superior	Armadura Inferior	Arm. en Apoyo Sup.	Armadura Superior	Armadura Inferior	Arm. en Apoyo Sup.
6	Rectangular	50x75	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	-	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	-
		Área (cm)	11,62	11,62	-	11,62	11,62	-
5	Rectangular	50x75	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	-	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	-
		Área (cm)	11,62	11,62	-	11,62	13,07	-
4	Rectangular	50x75	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	-	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	4 ϕ 22	2 ϕ 22
		Área (cm)	13,07	11,62	-	11,62	15,21	7,60
3	Rectangular	50x75	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 16	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	3 ϕ 24 + 3 ϕ 20	2 ϕ 24 + 2 ϕ 22
		Área (cm)	11,62	11,62	4,02	13,07	24,97	16,65
2	Rectangular	50x75	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	2 ϕ 16	2 ϕ 22 + 2 ϕ 16	3 ϕ 24 + 2 ϕ 22	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16
		Área (cm)	11,62	13,07	4,02	11,62	21,17	13,07
1	Rectangular	60x75	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	2 ϕ 22 + 2 ϕ 20	2 ϕ 16	2 ϕ 24 + 2 ϕ 16	3 ϕ 24 + 2 ϕ 26	2 ϕ 20 + 2 ϕ 16

	Área (cm)	13,07	13,88	4,02	13,07	17,59	10,30
--	-----------	-------	-------	------	-------	-------	-------

Tabla 8.28 Comparación: Diseño estructura aislada y Diseño estructura NEC-11; Pórtico M, L

Analicemos entonces la armadura de las vigas del primer pórtico en el sentido Y, el pórtico 1; presenta en el piso seis una reducción del 18% en armadura superior y 8% en inferior, lo que se considera una reducción baja. En los niveles 5, 4, 3, 2 tiene una reducción de la armadura del 35% al 43% en la armadura superior y de 35% a 49% en la inferior, lo que se considera una reducción representativa que se reflejará en los costos directos de la construcción; en el nivel 1, la reducción es más baja, del 7% al 12.5%.

En el pórtico 4, en el nivel 5 se reduce en la armadura superior un 19% y en la inferior 4%, en los niveles 4, 3, 2 las reducciones van del 32% al 40% tomando en cuenta la armadura superior e inferior; nuevamente en el primer nivel la reducción es más baja alcanzando de 2% a 10%.

Podemos notar claramente que las mayores reducciones de refuerzo se logra en los niveles intermedios; además las reducciones en los pórticos externos son mayores que en los pórticos internos.

Examinando la estructura en el otro sentido tenemos el pórtico M, mismo que en los niveles 4, 3, 2, tiene una reducción del refuerzo superior de 33% a 41% y en el inferior de 31% a 58%, lo que se considera una buena y apropiada reducción del refuerzo longitudinal; en este pórtico la reducción en el primer piso es valiosa, equivaliendo a 10% y 15%, que es mayor a los pórticos en la dirección opuesta.

En el pórtico L tenemos reducciones que van desde 15% hasta el 60% en los niveles 4, 3, 2; en el primer nivel de igual manera existe una reducción del 14% al 19% en refuerzo.

Podemos notar que en estos pórticos se obtiene una reducción de la armadura similar entre los pórticos internos y externos.

Cabe señalar además, que en algunos niveles superiores no se refleja la disminución de armadura por cuanto en las dos estructuras hubo que diseñar con la armadura mínima, y por tanto los porcentajes de reducción son bajos o nulos.

Finalmente es conveniente señalar dos observaciones, la primera en cuanto al diseño, se debe tener ciertas consideraciones y precauciones con los elementos anexos al sistema de aislación, una especial atención deben tener las conexiones flexibles, las cuales se deben implementar con un tramo adicional, que sea igual o superior al desplazamiento establecido para el sismo máximo posible. La segunda que para optimizar mejor las secciones de hormigón en el modelo aislado HDR es necesario reducirlas, pero que por ser de los primeros modelos que se han realizado con este sistema, se debe proceder con prudencia y de ser posible respaldarse en modelos físicos del comportamiento de los aisladores, para un mejor y adecuado diseño de estructuras con aislación basal.

CAPÍTULO IX

9.1 CONCLUSIONES

DE LA COMPARACIÓN ENTRE CÓDIGOS Y EDIFICIOS CONVENCIONALES:

1.- El período fundamental de vibración de la edificaciones estudiadas, se reduce utilizando la NEC-11 respecto del CEC-2002, esto se debe al cambio de valores en la ecuación que proporciona la norma; este cambio en el período de vibración repercute en el cálculo del coeficiente del cortante basal, siendo estos dos parámetros inversamente proporcionales; se conoce además que; a mayor fuerza cortante, mayores solicitaciones y esfuerzos en la estructura.

2.- El edificio Consulta Externa posee el período de vibración más bajo, que las estructuras Gobernantes y Hall Central; es decir que es la edificación más rígida, además con este valor tenemos la primera información para establecer si es conveniente o no aislar una estructura.

3.- En los edificios: Hall Central, Gobernantes, Consulta Externa I y II; el cortante basal calculado y comparado entre la NEC-11 y el CEC-2002, varía de 2.0 a 2.4 veces a favor de la primera norma en mención; esto se debe principalmente al factor de reducción de respuesta estructural R , que es inversamente proporcional al cortante basal según la configuración de su ecuación.

4.- El edificio Hall Central, a pesar de ser el de mayor altura y peso en comparación al resto de edificaciones, no le corresponde el valor más elevado de cortante basal; esto se debe a que su sistema estructural es de tipo dual (pórticos de hormigón armado con muros estructurales) y la NEC-11 sanciona a las estructuras que no poseen el mencionado sistema.

5.- En la representación gráfica de los espectros de respuesta inelásticos de los edificios en estudio, se observa que las curvas tienen un punto de intersección que corresponde a un período de 6.40s; para los períodos bajo este valor las aceleraciones espectrales de la NEC-11 son mayores al CEC-2002; y, para los periodos sobre esta abscisa las aceleraciones espectrales CEC-2002 son mayores que las NEC-11. Cabe mencionar que la mayoría de estructuras convencionales tienen períodos de vibración menores a 1s; en consecuencia la NEC-11 presenta un espectro de respuesta inelástico más exigente en el análisis dinámico de estructuras de edificación.

6.- Los espectros graficados para distintos edificios con el mismo código son muy similares, sea éste el CEC-2002 o la NEC-11; solamente existen cambios ligeros en sistemas duales, es decir que para el cálculo de las estructuras motivo de este trabajo, hace falta calcular dos espectros por código: los primeros para sistemas duales y los segundos para pórticos espaciales sin muros o rigidizadores.

7.- Los resultados del análisis modal tridimensional y diseño de los edificios Hall Central, Gobernantes, Consulta Externa I y II; aplicando el código CEC-2002 y norma NEC-11 con sus respectivos espectros y el código ACI 318-08 fueron satisfactorios. Existió un buen desempeño de todas las estructuras en estudio, cumpliendo con las disposiciones de cortante basal y presentando valores de: desplazamientos relativos (derivadas), participación modal y efectos p-delta dentro de los rangos establecidos como aceptables, todo esto bajo el marco conceptual y la filosofía de diseño del análisis de estructuras convencionales, establecida en CEC-2002 y NEC-11.

8.- Comparando el acero de refuerzo en las columnas de todos los edificios, establecemos que con la NEC-11 se incrementan las áreas de acero en columnas cuadradas, rectangulares y circulares; es decir, que las cuantías de refuerzo con las secciones planteadas en los modelos con el CEC-2002 tienen

valores del 1% al 1.8%, en cambio con la NEC-11 las cuantías suben a 2% y 3% como máximo (valor que está dentro del intervalo establecido); dando en algunos casos congestionamiento de varillas, por lo que es necesario en la práctica aumentar en un 20% el área bruta de sección transversal de las columnas.

9.- El acero en las vigas con la NEC-11, se eleva en todos los edificios respecto del CEC-2002; esto es comprensible ya que al subir el coeficiente de cortante basal sube la fuerza sísmica correspondiente a cada piso y en consecuencia, los valores de las ordenadas de los diagramas de momentos en las vigas serán más altas, elevando por tanto el área de acero.

DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AISLACIÓN:

10.- Para el diseño de los aisladores implementados en todas las estructuras, se eligió un período de $T=2s$; valor que asegura buenos niveles de respuesta, porque aleja a la estructura de las zonas de mayor energía de los sismos ecuatorianos. A cada estructura se le asignó el número de aisladores correspondientes al número de columnas, más los adecuados por cada muro de corte.

11.- El procedimiento de diseño de los aisladores elastoméricos es iterativo, y el éxito de sus resultados depende de los valores de espesor de las capas de neopreno y acero que se asuma en la primera iteración; es decir, si son adecuados el diseño será resumido y apropiado.

12.- El diseño de los aisladores elastoméricos se lo realiza con las reacciones máximas y mínimas de la columna más solicitada, y su comprobación debe hacerse con las reacciones (máxima y mínima) de la columna menos solicitada, en cualquiera de los edificios estudiados.

13.- En el diseño de aisladores elastoméricos, lo más adecuado es partir con el mayor espesor de la lámina de neopreno, para obtener la mayor deformación al corte posible.

14.- Los resultados del diseño de los aisladores elastoméricos en los edificios Consulta Externa I y II, Gobernantes, Hall Central y en los sistemas HDR y HDR-LBR son satisfactorios; ya que se obtuvieron dimensiones adecuadas y factibles de realizar, con propiedades de los elastómeros disponibles en el mercado ecuatoriano.

15.- En el diseño de los aisladores en los sistemas HDR y HDR-LBR, implementado en los edificios Gobernantes, Consulta Externa Uno y Hall Central el diseño se ve limitado por la deformación a cortante de las láminas de elastómero; es decir, no se puede aumentar el espesor del neopreno porque no cumple la deformación admisible al corte. Esto limita también el desplazamiento de la estructura y por ende cambia el periodo de vibración

16.- En los edificios Consulta Externa Dos y Hall Central el diseño de los aisladores HDR y HDR-LBR se limita por la carga máxima de pandeo es decir que a mayor altura del elastómero incrementa la vulnerabilidad al pandeo de los edificios.

17.- Se aplicó un análisis dinámico al edificio Gobernantes con el espectro de aceleraciones proporcionado por la NEC-11; para la implementación de los aisladores se utilizó el método proporcionado por “Aguiar, Bravo y Romo” en su publicación “Alternativas de Modelamiento de Estructuras con Aisladores Sísmicos Mediante Sap 2000”, el cual recomienda modelar con propiedades de tipo Frame para facilidad de medida de los desplazamientos.

18.- El período que tiene el edificio Gobernantes con el sistema de aislación incorporado es el esperado, con un $T=2.15s$ que es muy cercano al propuesto

inicialmente de 2s, siendo los tres primeros modos muy cercanos entre sí; en los cuales predominan dos traslacionales y uno torsional.

19.- El sistema de aislación HDR en el edificio Gobernantes presenta mejores resultados en las derivas de piso y aceleraciones espectrales, entregando resultados beneficiosos para la estructura; ya que, con valores bajos de derivas se producen menores daños estructurales y, con menores aceleraciones disminuyen los momentos de volcamiento, daños en los contenidos y sensación de pánico en sus ocupantes.

20.- El cortante basal de la estructura aislada del edificio Gobernantes, es el 30% del cortante basal de la estructura convencional: en las direcciones X e Y, y en todos los pisos.

21.- En la estructura aislada del edificio Gobernantes, los desplazamientos laterales son predominantes en el sistema de aislación, esto hace que el edificio sobre un sistema de aislación tenga un comportamiento similar a un cuerpo rígido; a diferencia de lo que sucede en la estructura de base fija donde los desplazamientos se presentan en todos los niveles con importantes amplificaciones en altura, en consecuencia las estructuras con sistema de aislación presentan disminuciones importantes en las derivas de piso.

22.- Los esfuerzos resultantes de los elementos estructurales en la edificación aislada: vigas y columnas, son notablemente menores a sus homólogos de la estructura convencional, lo que se traduce en reducción de cuantías, éstas disminuyen dependiendo la posición en la viga y el piso; varían desde el 15% hasta el 49%.

23.- La estructura aislada proporciona cuantías mínimas de diseño y secciones sobredimensionadas, por lo que se ve la necesidad de disminuir las secciones de los elementos estructurales hasta obtener un diseño óptimo; estas secciones se han reducido como sigue: el área de la sección transversal de las vigas en

los pisos 2, 3, 4 y 5 se reducen en un 35% y en el piso 1 un 29%, las secciones de las columnas se han reducido de un diámetro de 100cm a 60cm y en las columnas cuadradas a 60cm de lado. Con estas secciones se logra aprovechar de mejor manera las propiedades de los elementos estructurales.

24.- Finalmente, la inclusión de un sistema de aislación basal al edificio Gobernantes le proporciona a la estructura un comportamiento sísmico superior a la versión convencional con altos niveles de protección de los elementos estructurales, de los contenidos y de sus ocupantes. No olvidemos que es una estructura de tipo esencial y debe permanecer en funcionamiento después de un sismo severo. Además desde el punto de vista económico inicialmente puede representar un aumento pequeño, pero si consideramos los costos de reparación que requeriría una estructura convencional definitivamente los costos de la estructura aislada se verían con ventaja, todos estos argumentos respaldan un edificio Gobernantes con aislación Basal.

9.2. RECOMENDACIONES

1.- Ante un diseño más riguroso por parte de la NEC-11, se recomienda un pre-dimensionamiento de elementos estructurales exigente de manera que cumpla las solicitaciones a las que va a ser sometida la sección del elemento.

2.- Se recomienda en estructuras convencionales obtener un período de vibración lo más largo posible, para obtener aceleraciones espectrales de suelo más bajas y consecuentemente un cortante basal más bajo; tomar en cuenta el modo de vibrar el suelo para que el conjunto estructura-suelo no entre en consonancia.

3.- Es recomendable en lo posible obtener sistemas estructurales duales, para mayor estabilidad y respuesta sísmica de los edificios.

4.- Es recomendable calcular un espectro de aceleraciones de suelo para cada edificación con un sistema estructural específico; es decir, para sistemas duales, pórticos sin rigirizadores, etc.

5.- Si las cuantías de acero de refuerzo se obtienen mayores a 2.5% es recomendable subir el área bruta de hormigón para no generar congestionamiento de varillas.

6.- Elegir un período de vibración para estructuras aisladas que este en el intervalo de 2 a 3s para obtener buenos resultados de respuesta sísmica esto es, cortantes basales menores, derivas de piso sobre el nivel de aislación bajas, aceleraciones bajas y diseños más simplificados.

7.- Considerando que lo más importante en las estructuras es la seguridad, es recomendable que todos los parámetros y factores de seguridad deben respetarse a cabalidad, para luego evaluar la respuesta sísmica y la economía del proyecto.

8.- Existen dos formas consultadas de modelar los aisladores en los paquetes computacionales, se recomienda utilizar el proporcionado por este trabajo de tesis para facilitar el cálculo de desplazamientos en el sistema de aislación y relativos de la estructura.

9.- Se debe tener un especial cuidado en la participación modal de las estructuras ya que de ésta depende el éxito de su vibración. Las derivas de piso y demás requerimientos estructurales deben cumplirse con holgura para un mejor desempeño de los edificios y las estructuras en general.

10.- Finalmente se recomienda en lo posible implementar sistemas de aislación a estructuras de tipo esenciales ya que con este sistema es altamente probable la funcionalidad del 100% de la estructura después de un sismo severo. Cabe mencionar que estos modelos son computacionales e indudablemente falta

realizar modelos físicos en laboratorio para garantizar al 100% el comportamiento y efectividad de los mismos.

GLOSARIO DE TERMINOS:

Ad: Coeficiente de aceleración espectral,

Ag: Sección bruta de hormigón (pre-dimensionamiento de columnas y muros),

Apb: Área del núcleo,

As: Área de acero de refuerzo.

C: Coeficiente que depende del tipo de suelo y el periodo fundamental,

Ct: Coeficiente que depende de la tipología estructural del edificio.

D: Carga muerta.

d: Peralte efectivo,

Di: Deriva de piso.

Epb: Módulo de compresión del plomo,

f'c: Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días,

f1: Factor de amplificación por el núcleo de plomo,

Fa, Fd, Fs: Factores de sitio.

Fs: Factor de seguridad,

Ft: Fuerza concentrada que se aplicara en la parte más alta de la estructura,

Fx: Fuerza en el nivel x de la estructura,

fy: Límite de fluencia del acero de refuerzo,

g: Aceleración de la gravedad,

G: Módulo de corte del elastómero,

H: Altura de la estructura.

hi: Altura de entrepiso,

Hpb: Altura del núcleo de plomo,

Hr: Altura necesaria del elastómero,

Ht: Altura total del aislador,

I: Factor que depende del tipo de uso, destino e importancia de las edificaciones,

J: Factor amplificador de K_p ,

K: Módulo de compresibilidad del aislador HDR,

K2: Rigidez inicial del dispositivo,

Kp: Rigidez del aislador con núcleo de plomo.

L: Carga viva.

Mu: Momento último,

: Factor que depende de las regiones (Costa, sierra, amazonas, insular),

N: Número de aisladores del sistema,

n: Número de capas de elastómero en un aislador,

: Factor de reducción de resistencia a flexión,

Pmax: Carga máxima actuante,

Pmin: Carga mínima actuante,

Q: Resistencia característica,

Qi: Índice estabilidad de piso.

R: Factor de reducción de respuesta estructura,

Ru: Factor de resistencia,

S: Coeficiente que depende del tipo de suelo,

S: Factor de forma de un aislador HDR,

Sa: Aceleración espectral.

Sx: Carga sísmica en x.

Sy: Carga sísmica en y.

T: Periodo fundamental de vibración,

tr: Espesor de una capa de elastómero,

ts: Espesor de las capas de acero,

V: Cortante basal de diseño,

W: Peso sísmico de la estructura,

Wi: Peso asignado a cada nivel de la estructura,

Z: Factor que depende de la zona sísmica,

...: Cuantía del acero de refuerzo,

x_b: Deformación por flexión,

x_c: Deformación por compresión,

u_i: Deflexión elástica del piso i,

x_{max}: Deformación por corte máxima admisible,

x_{maxprop}: Deformación máxima aceptable,

x_s: Deformación por corte máxima,

(EI)_{eff}: Rigidez a la inclinación,

τ_{AC}: Esfuerzo admisible en compresión,

τ_s: Esfuerzo de trabajo de las placas de acero,

τ_{adm}: Esfuerzo admisible del acero,

φ_E: Coeficiente de configuración estructural en elevación,

φ_P: Coeficiente de configuración estructural en planta,

A_P: Área del núcleo de plomo,

C_M : Coeficiente sísmico para desplazamiento máximo,

D_D : Desplazamiento de diseño,

D_M : Desplazamiento máximo,

D_e : Diámetro exterior de un aislador,

D_i : Diámetro interior de un aislador,

D_y : Desplazamiento de fluencia,

E_C : Módulo de compresión del aislador,

F_y : Fuerza de fluencia del dispositivo,

K_{Htot} : Rigidez horizontal del sistema de aislación,

K_{eff} : Rigidez efectiva,

K_p : Rigidez del aislador con núcleo de plomo,

K_v : Rigidez vertical del aislador HDR,

P_E : Carga de alabeo,

P_S : Rigidez de corte efectiva,

P_{crit} : Carga crítica capaz de provocar pandeo,

T_D : Periodo objetivo deseado,

T_L, T_c : Límites del periodo de vibración.

$f_{P-\delta}$: Efectos P- delta.

f_h : Frecuencia horizontal del aislador ,

f_v : Frecuencia horizontal del aislador,

k_H : Rigidez horizontal de un aislador,

t_{ext} : Espesor de las placas de anclaje,

β_M, β_D : Factores que dependen del amortiguamiento efectivo,

ϵ_c : Deformación axial media de capa de elastómero,

τ_y : Esfuerzo de fluencia del plomo.

BIBLIOGRAFÍA:

LIBROS, TESIS Y PUBLICACIONES:

- 1.- AGUIAR, ALMAZÁN, DECHENT, SUARES V. R; “Aisladores de base elastoméricos y FPS”; Quito Ecuador 2008, Centro de Investigaciones Científicas de la Escuela Politécnica del Ejercito. Primera Edición.
- 2.- AGUIAR, AUQUI, NAVAS, GARZON; “Primeras Experiencias de Aisladores Elastoméricos Producidos en Ecuador”; Quito Ecuador; Centro de Investigaciones Científicas de la Escuela Politécnica del Ejercito Primera edición.
- 3.- AGUIAR Roberto, “Análisis sísmico de Edificios”, Quito-Ecuador, 2008, Centro de Investigaciones Científicas de la Escuela Politécnica del Ejercito; primera edición.
- 4.- AGUIAR, BRAVO, ROMO; “Alternativas de Modelamiento de Estructuras con Aisladores Sísmicos Mediante SAP”; Quito Ecuador 2008, Centro de Investigaciones Científicas de la Escuela Politécnica del Ejercito.
- 5.- ARRIAGADA Jaime, “Aislación sísmica de un edificio de oficina de siete pisos (Análisis comparativo de comportamiento y costo con un edificio tradicional)”, Valdivia-Chile,2005, Universidad Austral de Chile.
- 6.- BELTRÁN, MARCILLA; “Tecnología de Polímeros”.
- 7.- BUENO, REYES; “Criterios para el uso de aisladores en la base en una estructura en concreto”; Bogotá Colombia; Universidad de los Andes.
- 8.- CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN DE GUAYAQUIL, “Proceso Constructivo del Puente Bahía- San Vicente”; CPR Asociados C. Limitada.

9.- CANDO, MONRROY, ORTEGA, PUERRES; “Aislación Sísmica de un Edificio (análisis comparativo de Comportamiento y costos con un edificio tradicional)”; Quito Ecuador 2012.

10.- CHILUISA, José; “Recopilación de Información para el Estudio y Diseño de Estructuras en Función de Resistir Fuerzas Sísmicas”; Quito Ecuador 2011; Segunda Edición.

11.- MEZA Roger - SANCHES Edgar, “Guía de diseño sísmico de aisladores elastomérico y de fricción para la república de Nicaragua”, Managua-Nicaragua, 2010 Universidad Nacional de Ingeniería.

12.-SANDOVAL, Jaime; “Respuesta Dinámica de Edificios con Aisladores Sísmicos en su Base”; COGESA_DIS.

13.- UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, FACULTAD DE INGENIERÍA CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS; “Guía para la Elaboración del Proyecto del Trabajo de Graduación”; Quito 2008.

14.-VÁSQUEZ, Jorge; “Curso de Estructuras Acero y Madera” ; Quito Ecuador 2001; Primera Impresión.

NORMAS Y CÓDIGOS:

1.- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI318, Ohio-EE UU, 2008; “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario”.

2.- CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN, CEC; Ministerio de desarrollo urbano y vivienda; Quito-Ecuador 2000, Capítulo 2- Peligro sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos de cálculo para diseño sismo resistente.

3.- FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY,FEMA; Washington DC-EEUU, 1997; Nehrp Commentary on the Guide lines for the Seismic Rehabilitation of Buildings 274, Sección 9; Seismic Isolation and Energy Dissipation.

4. - FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY, FEMA; Washington DCEEUU, 2006; Nehrp Commentary on the Guide lines for the Seismic Rehabilitation of Buildings 451, Seccion11; Seismically Isolated Structures.

5.- INTERNACIONAL BUILDING CODE, IBC2006; USA 2006.

6.- NORMA CHILENA; Instituto Nacional de Normalización, Santiago – Chile 2003; NCH-433, Diseño sísmico de edificios.

7.- NORMA CHILENA; Instituto Nacional de Normalización, Santiago – Chile 2003; NCH-2745, Análisis y Diseño de edificios con aislación sísmica-requisitos.

8.- NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, NEC; Ministerio de desarrollo urbano y vivienda; Quito-Ecuador, 2011, Capitulo 1- Cargas y Materiales.

9.- NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, NEC; Ministerio de desarrollo urbano y vivienda; Quito-Ecuador, 2011, Capitulo 2- Peligro sísmico y requisitos para el diseño sismo resistente.

10.- NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, NEC; Ministerio de desarrollo urbano y vivienda; Quito-Ecuador, 2011, Capitulo 4- Estructuras de Hormigón Armado.

REFERENCIAS ELECTRONICAS:

1.- <http://www.cconstruccion.net/artjul4.html>

2.- <http://www.youtube.com/watch?v=m0sBMvPu-X8&feature=endscreen&NR=1>

3.-<http://www.construaprende.com/foros/centro-de-masa-cortante-basal-y-arvhivo-out-vt11738.html>

4.-http://biblioteca.espe.edu.ec/upload/Art_01_aisladores_elastomericos_ecuador.pdf

5.-<http://es.scribd.com/doc/51933779/tesis-ANALISIS-EDIFICIO-CON-AISLADOR-CHILE>

6.- <http://iq.ua.es/TPO/Tema1.pdf>

7.-<http://fismat.uia.mx/fismat/PAGINA/HTML/Materia%20%C3%8Dndice/Histeresis%20elastica/Histeresis-Frameset.html>

ANEXOS

ANEXO A.

SOBRECARGAS DE USO (CARGA VIVA)

Las sobrecargas de uso dependen de la ocupación a la que está destinada la edificación y están conformadas por los pesos de personas, muebles, equipos y accesorios móviles o temporales, mercadería en transición, y otras. Las sobrecargas mínimas a considerar son las siguientes:

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Almacenes		
Venta al por menor		
Primer piso	4.80	4.50
Pisos superiores	3.60	4.50
Venta al por mayor. Todos los pisos	6.00	4.50
Armerías y salas de instrucción militar	7.20	
Áreas de Reunión y Teatros		
Asientos fijos	2.90	
Áreas de recepción	4.80	
Asientos móviles	4.80	
Plataformas de Reunión	4.80	
Escenarios	7.20	
Balcones	4.80	
Bibliotecas		
Salas de lectura	2.90	4.50
Estanterías	7.20	4.50
Corredores en pisos superiores a planta baja	4.00	4.50
Bodegas de almacenamiento (serán diseñadas para la mayor carga prevista)		

Liviana	6.00	
Pesada	12.00	
Coliseos (ver estadios y graderíos)		
Comedores y Restaurantes	4.80	
Construcción ligera de placa de piso sobre un área de 625 mm ²		0.90
Corredores-pasarelas-plataformas para mantenimiento	2.00	1.33
Corredores Primer Piso Otros pisos de igual ocupación, excepto si existe otra indicación	4.80	
Cubiertas Cubiertas planas, inclinadas y curvas	1.00	

Tabla A.1. Sobrecargas de uso (carga viva)

a.- Los pisos de estacionamientos o partes de los edificios utilizados para almacenamiento de vehículos, serán diseñados para las cargas vivas uniformemente distribuidas de la Tabla 1.2 o para las siguientes cargas concentradas:

(1) Para vehículos particulares (hasta 9 pasajeros) actuando en una superficie de 100 mm por 100 mm, 13.4 kN; y

(2) Para losas en contacto con el suelo que son utilizadas para el almacenamiento de vehículos particulares, 10 kN por rueda.

b. Los estacionamientos para camiones y buses serán diseñados por algún método recomendado por AASHTO, MTOP, que contenga las especificaciones para cargas de camiones y buses.

c.- Estas cargas se aplican en espacios de almacenamiento de bibliotecas y librerías que soportan anaqueles fijos con doble acceso, sujetos a las siguientes limitaciones: altura máxima de 2300 mm, ancho máximo de 300 mm por lado de acceso y distancia entre anaqueles mayor o igual a 900 mm.

d.- Adicional a las cargas vivas verticales, el diseño incluirá fuerzas horizontales aplicadas a cada fila de asientos, como sigue: 400 N/m en dirección paralela y 150 N/m en dirección perpendicular. Estas fuerzas no serán consideradas en forma simultánea.

e.- La carga concentrada de rueda será aplicada en un área de 100 mm x 100 mm.

g.- Cuando la sobrecarga reducida de cubierta (menor a 1.0 N/m²), calculada de conformidad con la sección 1.1.4.1, sea utilizada para el diseño de miembros estructurales continuos, la sobrecarga se aplicará en dos tramos adyacentes y en tramos alternados para obtener las máximas solicitaciones.

h.- Las cubiertas con propósitos especiales, serán diseñadas con las sobrecargas calculadas apropiadamente. En ningún caso la sobrecarga será menor a las indicadas en esta tabla.

i.- En la región andina y sus estribaciones, desde una cota de 1000m sobre el nivel del mar, no se permite la reducción de carga viva en cubiertas para prevenir caídas de granizo o ceniza.

j.- En los sitios donde sea necesario considerar la carga de granizo, se adicionará una sobrecarga de 1.0 kN/m² en las áreas de los aleros, en un ancho del 10% de la luz libre, medido desde el borde hacia el apoyo y no menor a 1000 mm.

ANEXO B.

CONTROL DE LA DERIVA DE PISO

Es ampliamente reconocido que el daño estructural se correlaciona mejor con el desplazamiento que con la resistencia lateral desarrollada. Excesivas deformaciones han ocasionado ingentes pérdidas por daños a elementos estructurales y no estructurales. El diseñador debe comprobar que su estructura presentará deformaciones inelásticas controlables, mejorando substancialmente el diseño conceptual. Por lo tanto, los límites a las derivas de entrepiso inelásticas máximas, M , se presentan en la Tabla B.1, los cuales deben satisfacerse en todas las columnas del edificio.

Estructuras de:	$M_{\text{máxima}}$
Hormigón armado, estructuras metálicas y de maderas	0,020
mampostería	0,010

Tabla B.1. Valores de M máximos, expresados como fracción de la altura de piso

ANEXO C.

MAPA DE ZONIFICACIÓN DE RIESGO SÍSMICO

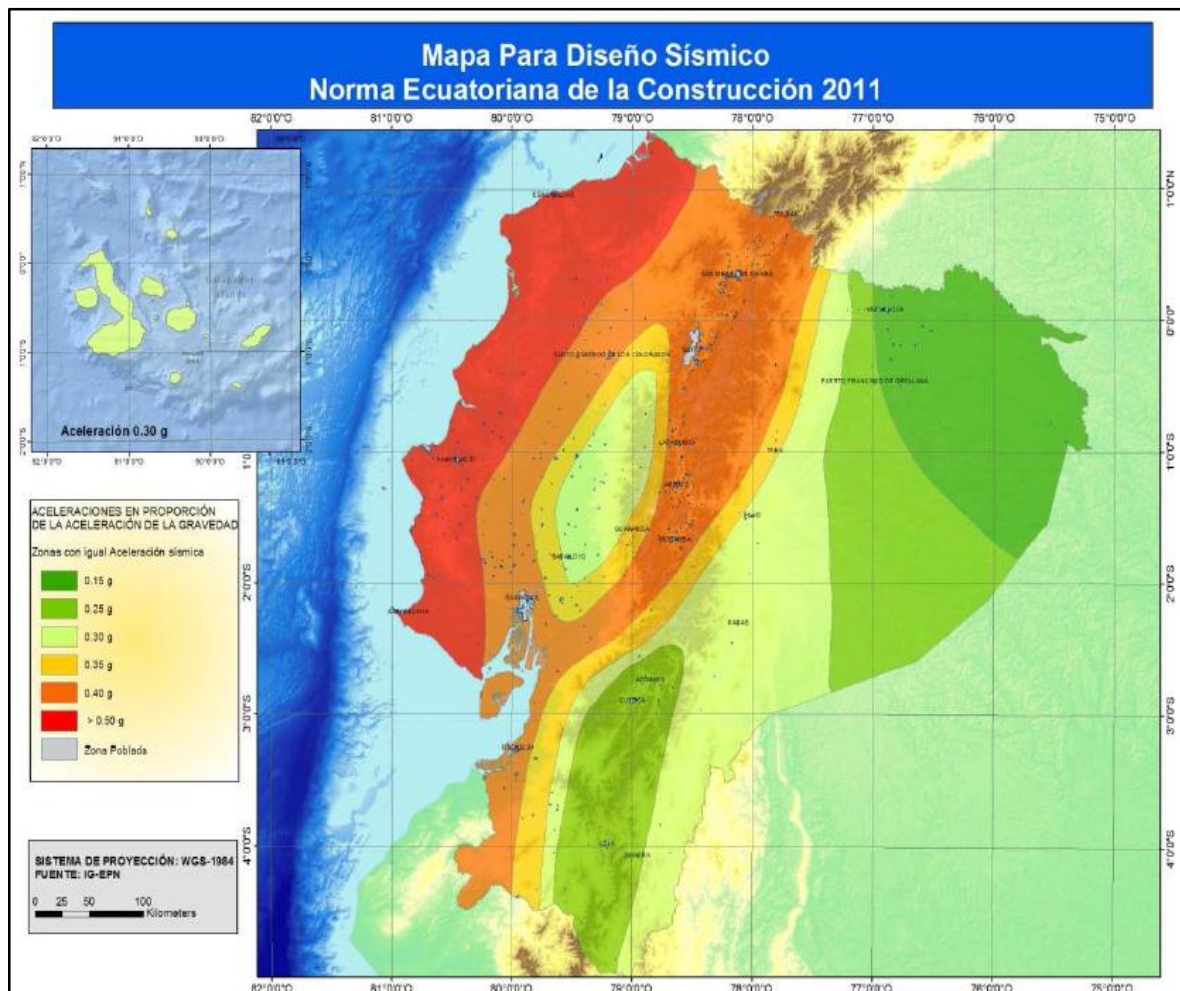


Fig. C.1. Mapa de zonificación de riesgo sísmico

ANEXO D.

D.1. REGISTRO EN ETAPA DE “RUN TIME” DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES

Como un registro de que los modelos se ejecutan sin problemas estructurales, ni de conexiones se expone el registro “run time” proporcionado por Etabs Versión 9.6.0.0. Cabe mencionar que solamente se mostrará del edificio Gobernantes, por no caer en monotonía solamente.

EDIFICIO: GOBERNANTES, ANÁLISIS DINÁMICO, CEC-2002

“Program ETABS Version 9.6.0.0

File:GOB_DINAMICO_CEC_SG_OK.LOG

BEGIN ANALYSIS 2013/03/05 01:13:49

MAXIMUM MEMORY BLOCK SIZE (BYTES) = 64.000 MB

ELEMENT FORMATION 01:13:49

NUMBER OF JOINT ELEMENTS FORMED = 1665

NUMBER OF SPRING ELEMENTS FORMED = 0

NUMBER OF FRAME ELEMENTS FORMED = 18522

NUMBER OF SHELL ELEMENTS FORMED = 82

NUMBER OF CONSTRAINTS FORMED = 6

REDUCTION OF CONSTRAINTS AND RESTRAINTS:

NUMBER OF

CONSTRAINT MASTER DOF BEFORE REDUCTION = 18

COUPLED CONSTRAINT/RESTRAINT MASTER DOF = 0

CONSTRAINT MASTER DOF AFTER REDUCTION = 18

EQUATION SOLUTION 01:13:59

TOTAL NUMBER OF EQUILIBRIUM EQUATIONS = 35553

APPROXIMATE "EFFECTIVE" BAND WIDTH = 232

NUMBER OF EQUATION STORAGE BLOCKS = 1

MAXIMUM BLOCK SIZE (8-BYTE TERMS) = 8255004

SIZE OF STIFFNESS FILE(S) (BYTES) = 63.116 MB

NUMBER OF EQUATIONS TO SOLVE = 35553

NUMBER OF STATIC LOAD CASES = 5

NUMBER OF ACCELERATION LOADS = 6

NUMBER OF NONLINEAR DEFORMATION LOADS = 0

EIGEN ANALYSIS 01:14:38

NUMBER OF STIFFNESS DEGREES OF FREEDOM = 35553

NUMBER OF MASS DEGREES OF FREEDOM = 3280

NUMBER OF EIGEN MODES SOUGHT = 12

NUMBER OF RESIDUAL-MASS MODES SOUGHT = 0

NUMBER OF SUBSPACE VECTORS USED = 16

RELATIVE CONVERGENCE TOLERANCE = 1.00E-07

FREQUENCY SHIFT (CENTER) (CYC/TIME) = .000000

FREQUENCY CUTOFF (RADIUS) (CYC/TIME) = .000000

NUMBER OF EIGEN MODES FOUND = 12

NUMBER OF ITERATIONS PERFORMED = 7

RESPONSE - SPECTRUM ANALYSIS 01:14:56

NUMBER OF SPEC ANALYSES PERFORMED = 1

JOINT OUTPUT 01:14:56

GLOBAL FORCE BALANCE RELATIVE ERRORS

PERCENT FORCE AND MOMENT ERROR AT THE ORIGIN, IN GLOBAL COORDINATES

LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
DEAD	9.70E-12	1.39E-11	8.09E-12	7.64E-12	1.07E-11	1.82E-11
CMA	1.98E-11	5.48E-12	5.67E-12	7.02E-12	2.07E-11	8.96E-12
CV	6.06E-12	6.47E-12	6.11E-12	7.79E-12	6.42E-13	9.36E-12
TRIBUTAR	1.34E-11	2.53E-12	6.55E-12	5.22E-12	1.50E-11	5.87E-12
SPEC1	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
MODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	1.57E-07	6.86E-07	6.22E-13	4.20E-07	5.25E-08	5.35E-07

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

2	3.86E-06	3.99E-06	3.13E-12	1.33E-06	1.62E-06	5.04E-06
3	4.25E-07	6.02E-07	1.46E-14	3.80E-07	1.24E-07	4.23E-07
4	0.000182	0.000137	1.37E-13	9.67E-07	7.98E-05	0.006945
5	9.10E-05	6.62E-05	2.68E-12	0.000133	7.26E-05	0.016304
6	0.000162	9.58E-05	9.06E-13	2.65E-05	7.29E-05	0.005432
7	0.000966	0.001069	1.13E-12	0.000473	0.000533	0.003329
8	1.37E-06	1.10E-05	6.37E-13	3.35E-06	5.08E-07	0.000170
9	1.34E-07	1.00E-06	6.40E-14	3.00E-07	1.06E-07	1.26E-05
10	9.60E-05	5.06E-05	1.16E-12	4.32E-05	6.15E-05	0.000538
11	0.000115	8.27E-05	3.40E-13	8.87E-05	0.000103	0.000628
12	0.000105	5.10E-05	7.89E-14	4.74E-05	7.10E-05	0.000672

SPEC	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
------	----	----	----	----	----	----

SPEC1	0.000103	0.000106	3.11E-12	5.23E-05	5.81E-05	0.003796
-------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

ELEMENT JOINT - FORCE OUTPUT 01:15:00

NUMBER OF JOINT ELEMENTS SAVED = 1665

NUMBER OF FRAME ELEMENTS SAVED = 18522

NUMBER OF SHELL ELEMENTS SAVED = 82

ELEMENT OUTPUT 01:15:12

ANALYSIS COMPLETE 2013/03/05 01:15:12"

EDIFICIO: GOBERNANTES, ANÁLISIS DINÁMICO, NEC-11

"Program ETABS Version 9.6.0.0

File:GOB_DINAMIC_NEC_SG_ok.LOG

BEGIN ANALYSIS 2013/04/28 14:54:35

MAXIMUM MEMORY BLOCK SIZE (BYTES) = 64.000 MB

ELEMENT FORMATION 14:54:35

NUMBER OF JOINT ELEMENTS FORMED = 1662

NUMBER OF SPRING ELEMENTS FORMED = 0

NUMBER OF FRAME ELEMENTS FORMED = 18497

NUMBER OF SHELL ELEMENTS FORMED = 82

NUMBER OF CONSTRAINTS FORMED = 6

REDUCTION OF CONSTRAINTS AND RESTRAINTS:

NUMBER OF

CONSTRAINT MASTER DOF BEFORE REDUCTION = 18

COUPLED CONSTRAINT/RESTRAINT MASTER DOF = 0

CONSTRAINT MASTER DOF AFTER REDUCTION = 18

EQUATION SOLUTION 14:54:46

TOTAL NUMBER OF EQUILIBRIUM EQUATIONS = 35484

APPROXIMATE "EFFECTIVE" BAND WIDTH = 238

NUMBER OF EQUATION STORAGE BLOCKS = 2

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

MAXIMUM BLOCK SIZE (8-BYTE TERMS) = 8388608

SIZE OF STIFFNESS FILE(S) (BYTES) = 128.266 MB

NUMBER OF EQUATIONS TO SOLVE = 35484

NUMBER OF STATIC LOAD CASES = 5

NUMBER OF ACCELERATION LOADS = 6

NUMBER OF NONLINEAR DEFORMATION LOADS = 0

E I G E N A N A L Y S I S 14:55:29

NUMBER OF STIFFNESS DEGREES OF FREEDOM = 35484

NUMBER OF MASS DEGREES OF FREEDOM = 3274

NUMBER OF EIGEN MODES SOUGHT = 12

NUMBER OF RESIDUAL-MASS MODES SOUGHT = 0

NUMBER OF SUBSPACE VECTORS USED = 16

RELATIVE CONVERGENCE TOLERANCE = 1.00E-07

FREQUENCY SHIFT (CENTER) (CYC/TIME) = .000000

FREQUENCY CUTOFF (RADIUS) (CYC/TIME) = .000000

NUMBER OF EIGEN MODES FOUND = 12

NUMBER OF ITERATIONS PERFORMED = 6

R E S P O N S E - S P E C T R U M A N A L Y S I S 14:55:45

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

NUMBER OF SPEC ANALYSES PERFORMED = 1

JOINT OUTPUT 14:55:45

GLOBAL FORCE BALANCE RELATIVE ERRORS

PERCENT FORCE AND MOMENT ERROR AT THE ORIGIN, IN GLOBAL COORDINATES

LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
DEAD	2.26E-11	4.97E-13	6.10E-12	2.14E-12	1.81E-11	1.48E-11
CMA	2.36E-11	4.85E-13	3.42E-12	1.79E-12	1.58E-11	1.44E-11
CV	2.01E-11	1.58E-13	3.15E-12	1.05E-12	1.25E-11	1.17E-11
TRIBUTAR	1.46E-11	2.23E-15	4.79E-12	2.16E-12	1.29E-11	1.03E-11

SPEC1	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
-------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

MODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	4.83E-06	2.92E-06	9.12E-13	4.89E-07	1.45E-06	1.28E-07
2	3.59E-06	2.98E-06	1.71E-12	6.79E-07	1.87E-06	7.74E-07
3	1.24E-06	7.46E-07	1.81E-13	1.33E-07	3.85E-07	4.08E-08
4	0.000450	0.000557	6.90E-13	0.000413	0.000402	0.003732
5	0.000523	0.000642	2.04E-12	0.000668	0.000681	0.005091
6	1.45E-05	1.56E-05	1.73E-14	4.15E-06	1.48E-05	0.000304
7	0.000267	0.000625	1.86E-13	0.000264	0.000176	0.001038
8	9.52E-07	7.99E-07	1.59E-13	4.00E-07	4.77E-07	3.27E-05

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

9	3.30E-08	1.74E-07	7.57E-14	7.24E-08	5.46E-09	4.42E-06
10	3.08E-05	5.05E-05	5.30E-13	1.89E-05	8.22E-06	0.001248
11	4.50E-05	0.000115	4.04E-13	6.43E-05	1.12E-05	0.003924
12	6.14E-06	7.71E-07	1.87E-13	1.49E-07	2.76E-06	3.25E-05
SPEC	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
SPEC1	9.27E-05	0.000117	1.91E-12	8.68E-05	8.62E-05	0.000717
ELEMENT JOINT - FORCE OUTPUT						14:55:49
NUMBER OF JOINT ELEMENTS SAVED				=	1662	
NUMBER OF FRAME ELEMENTS SAVED				=	18497	
NUMBER OF SHELL ELEMENTS SAVED				=	82	
ELEMENT OUTPUT						14:56:00
ANALYSIS COMPLETE						2013/04/28 14:56:00"

EDIFICIO: GOBERNANTES, ANÁLISIS ESPECTRAL, SISTEMA HDR.

"Program ETABS Version 9.6.0.0
File:GOB_ESPEC_HDR.LOG

BEGIN ANALYSIS	2013/04/29 09:35:05
MAXIMUM MEMORY BLOCK SIZE (BYTES)	= 64.000 MB
ELEMENT FORMATION	09:35:05
NUMBER OF JOINT ELEMENTS FORMED	= 1663
NUMBER OF SPRING ELEMENTS FORMED	= 0

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

NUMBER OF FRAME ELEMENTS FORMED = 18570

NUMBER OF SHELL ELEMENTS FORMED = 82

NUMBER OF CONSTRAINTS FORMED = 7

REDUCTION OF CONSTRAINTS AND RESTRAINTS:

NUMBER OF

CONSTRAINT MASTER DOF BEFORE REDUCTION = 21

COUPLED CONSTRAINT/RESTRAINT MASTER DOF = 0

CONSTRAINT MASTER DOF AFTER REDUCTION = 21

EQUATION SOLUTION 09:35:21

TOTAL NUMBER OF EQUILIBRIUM EQUATIONS = 35568

APPROXIMATE "EFFECTIVE" BAND WIDTH = 227

NUMBER OF EQUATION STORAGE BLOCKS = 1

MAXIMUM BLOCK SIZE (8-BYTE TERMS) = 8095257

SIZE OF STIFFNESS FILE(S) (BYTES) = 61.898 MB

NUMBER OF EQUATIONS TO SOLVE = 35568

NUMBER OF STATIC LOAD CASES = 6

NUMBER OF ACCELERATION LOADS = 6

NUMBER OF NONLINEAR DEFORMATION LOADS = 0

EIGEN ANALYSIS 09:36:02

NUMBER OF STIFFNESS DEGREES OF FREEDOM = 35568

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

NUMBER OF MASS DEGREES OF FREEDOM = 3277

NUMBER OF EIGEN MODES SOUGHT = 12

NUMBER OF RESIDUAL-MASS MODES SOUGHT = 0

NUMBER OF SUBSPACE VECTORS USED = 16

RELATIVE CONVERGENCE TOLERANCE = 1.00E-07

FREQUENCY SHIFT (CENTER) (CYC/TIME) = .000000

FREQUENCY CUTOFF (RADIUS) (CYC/TIME) = .000000

NUMBER OF EIGEN MODES FOUND = 12

NUMBER OF ITERATIONS PERFORMED = 7

RESPONSE - SPECTRUM ANALYSIS 09:36:20

NUMBER OF SPEC ANALYSES PERFORMED = 1

JOINT OUTPUT 09:36:20

GLOBAL FORCE BALANCE RELATIVE ERRORS

PERCENT FORCE AND MOMENT ERROR AT THE ORIGIN, IN GLOBAL
COORDINATES

LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
DEAD	4.47E-11	7.84E-14	8.48E-11	3.83E-11	9.41E-11	2.87E-11
CMA	3.12E-11	6.05E-12	8.30E-11	3.37E-11	7.63E-11	1.79E-11
CV	6.22E-12	6.32E-13	8.33E-11	3.58E-11	7.25E-11	3.66E-12
DESPL1	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

TRIBUTAR 3.65E-11 4.15E-12 8.27E-11 3.97E-11 8.31E-11 2.07E-11

SPEC1 .000000 .000000 .000000 .000000 .000000 .000000

MODE FX FY FZ MX MY MZ

1 2.43E-06 4.56E-07 1.73E-11 2.45E-07 1.70E-06 1.44E-06

2 1.88E-06 2.90E-07 8.09E-12 2.24E-07 1.99E-06 1.59E-06

3 3.61E-07 1.43E-08 7.97E-12 7.55E-09 2.55E-07 2.28E-07

4 1.86E-05 2.07E-05 2.65E-11 1.96E-05 1.38E-05 0.000314

5 2.86E-05 1.59E-05 1.81E-11 2.51E-05 1.45E-05 0.000433

6 2.10E-05 5.32E-06 4.13E-11 9.06E-06 1.07E-05 0.000412

7 0.005497 0.005811 5.23E-13 0.002343 0.003903 0.012091

8 0.028508 0.013774 7.58E-12 0.009245 0.018992 0.106950

9 0.003754 2.24E-06 4.12E-12 7.93E-05 0.002136 0.004298

10 0.003401 0.005307 2.82E-11 0.003391 0.002664 0.00808

11 1.28E-05 1.36E-05 1.20E-11 3.84E-06 3.07E-06 0.000225

12 6.76E-06 1.72E-06 3.05E-11 1.63E-06 1.30E-07 0.000120

SPEC FX FY FZ MX MY MZ

SPEC1 3.19E-05 1.67E-05 1.91E-11 7.83E-06 1.56E-05 8.66E-05

ELEMENT JOINT - FORCE OUTPUT 09:36:24

NUMBER OF JOINT ELEMENTS SAVED = 1663

NUMBER OF FRAME ELEMENTS SAVED = 18570

NUMBER OF SHELL ELEMENTS SAVED = 82

ELEMENT OUTPUT

09:36:39

ANALYSIS COMPLETE

2013/04/29 09:36:39"

EDIFICIO: GOBERNANTES, ANÁLISIS ESPECTRAL, SISTEMA HDR+LBR

"Program ETABS Version 9.6.0.0

File:GOB_ESPEC_HDR_LBR.LOG

BEGIN ANALYSIS

2013/04/29 12:17:06

MAXIMUM MEMORY BLOCK SIZE (BYTES) = 64.000 MB

ELEMENT FORMATION 12:17:06

NUMBER OF JOINT ELEMENTS FORMED = 1663

NUMBER OF SPRING ELEMENTS FORMED = 0

NUMBER OF FRAME ELEMENTS FORMED = 18570

NUMBER OF SHELL ELEMENTS FORMED = 82

NUMBER OF CONSTRAINTS FORMED = 7

REDUCTION OF CONSTRAINTS AND RESTRAINTS:

NUMBER OF

CONSTRAINT MASTER DOF BEFORE REDUCTION = 21

COUPLED CONSTRAINT/RESTRAINT MASTER DOF = 0

CONSTRAINT MASTER DOF AFTER REDUCTION = 21

EQUATION SOLUTION 12:17:21

TOTAL NUMBER OF EQUILIBRIUM EQUATIONS = 35568

APPROXIMATE "EFFECTIVE" BAND WIDTH = 227

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

NUMBER OF EQUATION STORAGE BLOCKS = 1

MAXIMUM BLOCK SIZE (8-BYTE TERMS) = 8095257

SIZE OF STIFFNESS FILE(S) (BYTES) = 61.898 MB

NUMBER OF EQUATIONS TO SOLVE = 35568

NUMBER OF STATIC LOAD CASES = 6

NUMBER OF ACCELERATION LOADS = 6

NUMBER OF NONLINEAR DEFORMATION LOADS = 0

E I G E N A N A L Y S I S 12:18:05

NUMBER OF STIFFNESS DEGREES OF FREEDOM = 35568

NUMBER OF MASS DEGREES OF FREEDOM = 3277

NUMBER OF EIGEN MODES SOUGHT = 12

NUMBER OF RESIDUAL-MASS MODES SOUGHT = 0

NUMBER OF SUBSPACE VECTORS USED = 16

RELATIVE CONVERGENCE TOLERANCE = 1.00E-07

FREQUENCY SHIFT (CENTER) (CYC/TIME) = .000000

FREQUENCY CUTOFF (RADIUS) (CYC/TIME) = .000000

NUMBER OF EIGEN MODES FOUND = 12

NUMBER OF ITERATIONS PERFORMED = 7

R E S P O N S E - S P E C T R U M A N A L Y S I S 12:18:23

NUMBER OF SPEC ANALYSES PERFORMED = 1

J O I N T O U T P U T 12:18:23

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

GLOBAL FORCE BALANCE RELATIVE ERRORS

PERCENT FORCE AND MOMENT ERROR AT THE ORIGIN, IN GLOBAL COORDINATES

LOAD	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
DEAD	8.51E-12	1.27E-13	6.45E-11	2.85E-11	5.84E-11	4.96E-12
CMA	5.00E-11	2.62E-13	6.00E-11	2.70E-11	8.67E-11	3.55E-11
CV	1.15E-11	2.65E-12	6.81E-11	3.21E-11	6.57E-11	4.46E-12
DESPL1	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
TRIBUTAR	2.77E-11	1.23E-12	6.82E-11	3.12E-11	7.48E-11	1.64E-11
SPEC1	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000	.000000

	MODE	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
1	2.63E-06	4.43E-07	5.01E-12	2.47E-07	1.84E-06	1.54E-06	
2	1.88E-06	2.89E-07	4.50E-12	2.25E-07	1.98E-06	1.58E-06	
3	7.77E-08	3.09E-08	2.03E-12	2.04E-08	6.82E-08	3.79E-08	
4	2.62E-05	2.74E-05	7.28E-12	2.69E-05	1.93E-05	0.000461	
5	3.40E-05	1.85E-05	1.02E-11	2.93E-05	1.72E-05	0.000518	
6	1.98E-05	1.83E-06	1.10E-11	7.41E-06	9.95E-06	0.000416	
7	0.005468	0.005763	3.97E-12	0.002329	0.003884	0.011980	
8	0.028318	0.013288	1.36E-13	0.008958	0.018984	0.104646	
9	0.002998	6.94E-07	1.35E-12	6.40E-05	0.001710	0.003449	
10	0.003101	0.004838	9.47E-12	0.003097	0.002433	0.0073	

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

11 1.24E-05 1.32E-05 5.93E-13 3.77E-06 2.98E-06 0.000215

12 5.85E-06 1.47E-06 1.40E-12 1.41E-06 1.34E-07 0.000103

SPEC FX FY FZ MX MY MZ

SPEC1 3.25E-05 1.66E-05 6.72E-12 7.81E-06 1.59E-05 8.80E-05

ELEMENT JOINT - FORCE OUTPUT 12:18:28

NUMBER OF JOINT ELEMENTS SAVED = 1663

NUMBER OF FRAME ELEMENTS SAVED = 18570

NUMBER OF SHELL ELEMENTS SAVED = 82

ELEMENT OUTPUT 12:18:43

ANALYSIS COMPLETE 2013/04/29 12:18:43"

D.2. CENTRO DE MASAS Y CENTRO DE RIGIDECES

En el diseño de los aisladores se necesita calcular la excentricidad, es por lo que se presenta una tabla con el centro de masas y rigideces por piso del edificio Gobernantes.

CENTRO DE MASAS Y RIGIDECES, GOBERNANTES, NEC-11										
Story	MassX	MassY	XCM	YCM	CMassX	CMassY	XCCM	YCCM	XCR	YCR
STORY1	53,41	53,41	21,95	10,90	53,41	53,41	21,95	10,90	21,75	10,45
STORY2	60,50	60,50	21,75	10,80	60,50	60,50	21,75	10,80	21,87	10,67
STORY3	61,28	61,28	21,47	10,82	61,28	61,28	21,47	10,82	21,85	10,74
STORY4	61,50	61,50	21,38	10,80	61,50	61,50	21,38	10,80	21,80	10,78
STORY5	58,00	58,00	21,27	10,81	58,00	58,00	21,27	10,81	21,74	10,80
STORY6	20,94	20,94	20,42	11,10	20,94	20,94	20,42	11,10	21,68	10,82
CENTRO DE MASAS Y RIGIDECES, GOBERNANTES, HDR										
Story	MassX	MassY	XCM	YCM	CMassX	CMassY	XCCM	YCCM	XCR	YCR
STORY1	53,41	53,41	21,95	10,90	53,41	53,41	21,95	10,90	21,62	10,80
STORY2	60,50	60,50	21,75	10,80	60,50	60,50	21,75	10,80	21,64	10,81

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

STORY3	61,28	61,28	21,47	10,82	61,28	61,28	21,47	10,82	21,64	10,81
STORY4	61,50	61,50	21,38	10,80	61,50	61,50	21,38	10,80	21,64	10,82
STORY5	58,00	58,00	21,27	10,81	58,00	58,00	21,27	10,81	21,64	10,82
STORY6	20,94	20,94	20,42	11,10	20,94	20,94	20,42	11,10	21,62	10,83
AI SLAD	23,83	23,83	21,79	10,80	23,83	23,83	21,79	10,80	21,60	10,80

Tabla D.1 Centro de masas y centro de rigideces

ANEXO E.

RESULTADOS ADICIONALES EN EL DISEÑO DE AISLADORES

El diseño de aisladores además de calcular para la columna más cargada es decir la crítica también se debe comprobar para la columna de carga mínima, a continuación se presentan las tablas de resultados de comprobación para la columna de menor carga axial.

COMPROBACIÓN, GOBERNANTES, HDR				COMPROBACIÓN, HALL CENTRAL, HDR			
tr=	9	x _{max}	2,80	tr=	13	x _{max}	2,45
fv1=	18,71	P _{crit} /P _{max} =	3,5	fv1=	21,20	P _{crit} /P _{max} =	3,7
fv2=	14,16	FS=	2,23	fv2=	17,86	FS=	2,45
T=	2,02	n=	26,00	T=	2,02	n=	18,00
Hr=	23,4	De=	75,0	Hr=	23,4	De=	110,0
Ht=	30,9	Di=	20	Ht=	28,5	Di=	20
COMPROBACIÓN, C. EXTERNA UNO, HDR				COMPROBACIÓN, C. EXTERNA DOS, HDR			
tr=	6	x _{max}	2,26	tr=	11	x _{max}	1,99
fv1=	17,86	P _{crit} /P _{max} =	12,7	fv1=	19,48	P _{crit} /P _{max} =	8,4
fv2=	11,63	FS=	0,94	fv2=	17,31	FS=	1,03
T=	2,00	n=	34,00	T=	2,01	n=	21,00
Hr=	20,4	De=	55,0	Hr=	23,1	De=	90,0
Ht=	30,3	Di=	20	Ht=	29,1	Di=	20

Tabla E.1 Comprobación para la columna de menor carga axial

ANEXO F.

ESTRUCTURA AISLADA ÓPTIMA

En el capítulo ocho, luego de diseñar la estructura se observó que los elementos de la estructura aislada eran armados con cuantías mínimas, es por eso que en este anexo se trata de lograr un diseño óptimo en secciones y armado.

CARACTERIZACIÓN.- La estructura aislada óptima en secciones y armado queda conformada por vigas en los dos sentidos de 35cm de base x 65cm de altura incluido el espesor de losa; en el nivel N+3.96 las vigas serían de: 40cm de ancho por 70cm de altura. Las columnas cuadradas con secciones de 60x60cm y las circulares con 60cm de diámetro.

Con las secciones antes mencionadas y el espectro de aceleraciones de suelo NEC-11, luego de revisar que la participación modal, derivas y desplazamientos están dentro de límites permisibles las áreas de acero que se arrojan en los pórticos críticos son las siguientes.

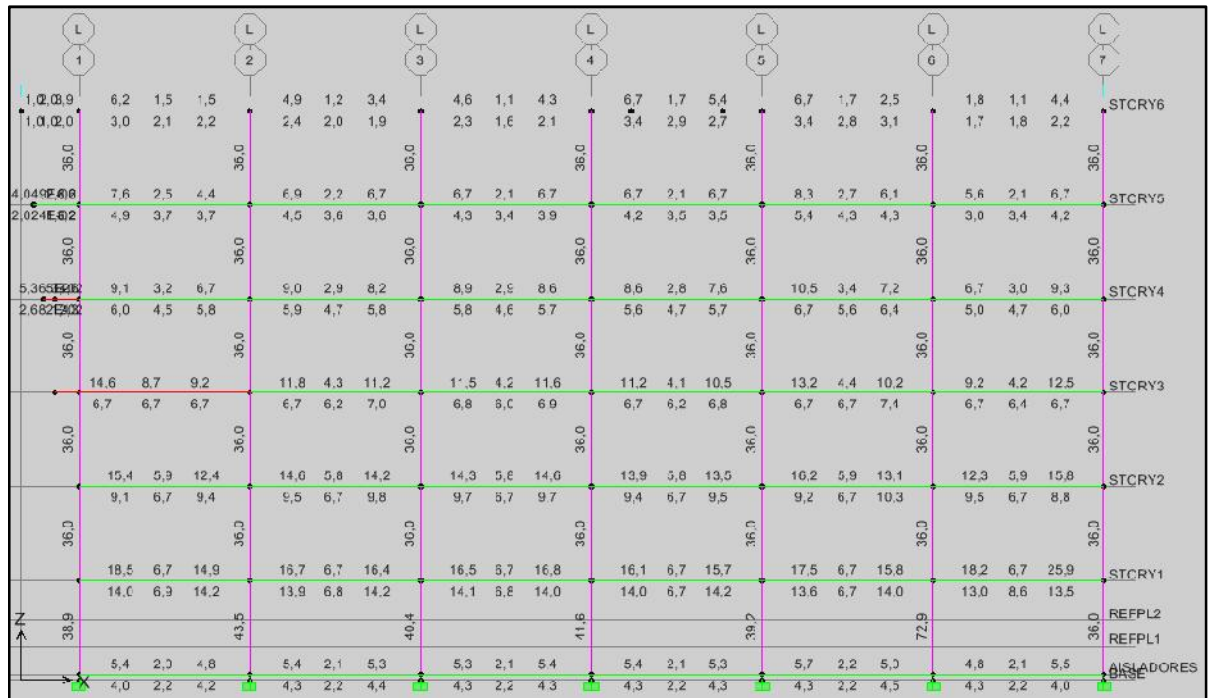


Fig. F.1. Acero en pórtico L, Gobernantes

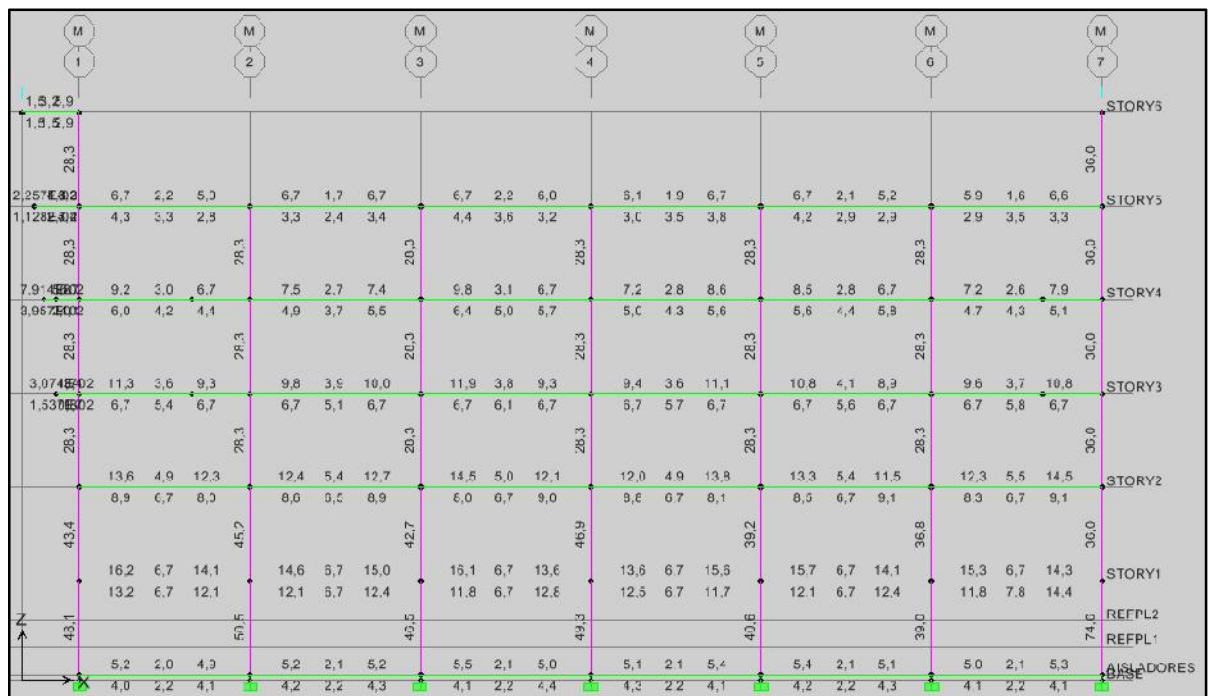


Fig. F.2. Acero en pórtico M, Gobernantes

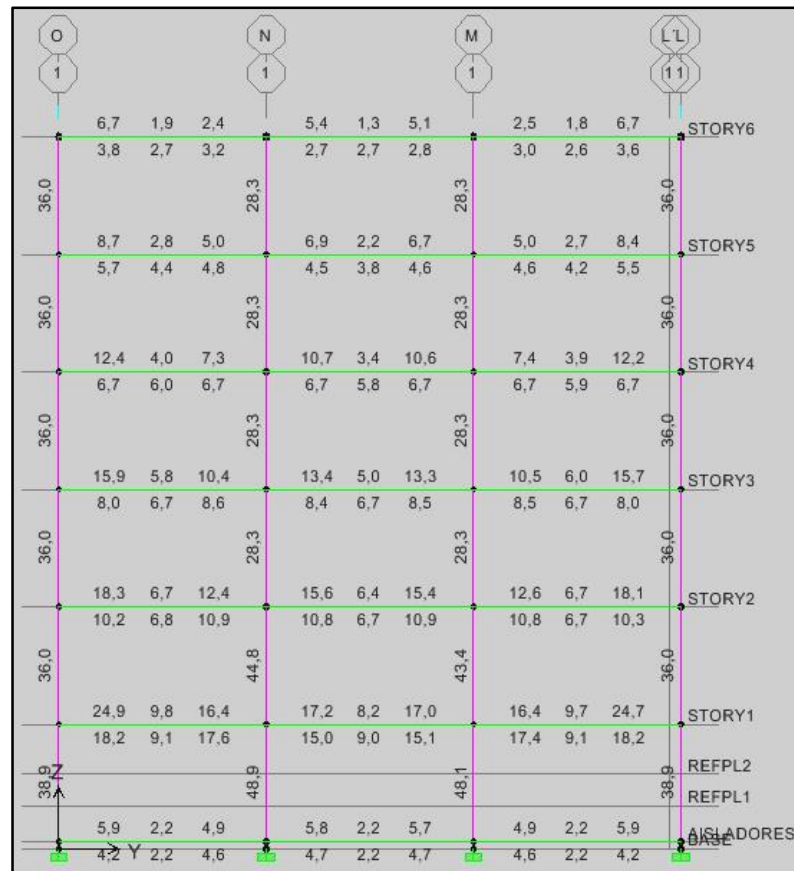
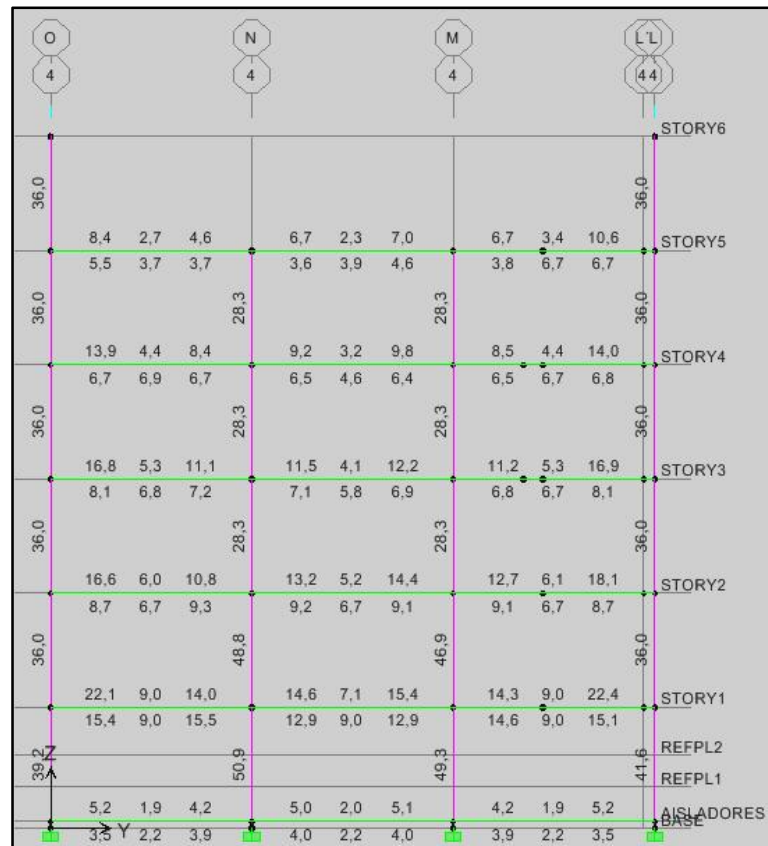


Fig. F.3. Acero en pórtico 1, Gobernantes



DISEÑO EN HORMIGÓN ARMADO (Número de varillas).- En base a lo expuesto en el numeral 8.5. Se establecen las siguientes disposiciones de varillas para cada viga de los pórticos y las columnas.

DISEÑO ÓPTIMO_VIGAS						
NIVEL	SECCION	DIM.	PORTICO 1			
		(cm)	Armadura Superior	Armadura Inferior	Arm. en Apoyo Sup.	Armadura por Corte
6	Rectangular	35x65	2 ϕ 18 + 1 16	2 ϕ 18 + 1 16	-	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	7,10	7,10	-	-
5	Rectangular	35x65	3 ϕ 18	2 ϕ 18 + 1 16	-	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	7,63	7,10	-	-
4	Rectangular	35x65	2 ϕ 18 + 1 16	2 ϕ 18 + 1 16	2 ϕ 18	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	7,10	7,10	5,09	-
3	Rectangular	35x65	2 ϕ 18 + 2 16	2 ϕ 18 + 2 16	2 ϕ 22	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	9,11	9,11	7,60	-
2	Rectangular	35x65	2 ϕ 18 + 2 16	2 ϕ 22 + 2 16	2 ϕ 18 + 2 16	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	9,11	11,62	9,11	-
1	Rectangular	40x70	2 ϕ 18 + 2 16	4 ϕ 22 + 2 16	4 ϕ 22	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	9,11	19,23	15,21	-
0	Rectangular	20x35	3 16	3 16	-	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	6,03	6,03	-	-
NIVEL	SECCION	DIM.	PORTICO 4			
		(cm)	Armadura Superior	Armadura Inferior	Arm. en Apoyo Sup.	Armadura por Corte
5	Rectangular	35x65	2 ϕ 18 + 1 16	2 ϕ 18 + 1 16	2 16	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	7,1	7,1	4,02	-
4	Rectangular	35x65	2 ϕ 18 + 2 16	2 ϕ 18 + 1 16	2 18	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	9,11	7,1	5,09	-
3	Rectangular	35x65	2 ϕ 18 + 1 16	2 ϕ 18 + 2 16	2 ϕ 25	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	7,1	9,11	9,81	-
2	Rectangular	35x65	2 ϕ 18 + 1 16	2 ϕ 18 + 2 16	3 ϕ 22	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	7,1	9,11	11,40	-
1	Rectangular	40x70	2 ϕ 18 + 1 16	4 22	3 ϕ 25	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	7,1	15,21	14,72	-
0	Rectangular	20x35	3 16	3 16	-	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	6,03	6,03	-	-
NIVEL	SECCION	DIM.	PORTICO M			
		(cm)	Armadura Superior	Armadura Inferior	Arm. en Apoyo Sup.	Armadura por Corte
5	Rectangular	35x65	2 ϕ 18 + 1 16	2 ϕ 18 + 1 16	-	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	7,10	7,10	-	-
4	Rectangular	35x65	2 ϕ 18 + 2 16	2 ϕ 18 + 1 16	-	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	9,11	7,10	-	-
3	Rectangular	35x65	3 ϕ 18	2 ϕ 18 + 1 16	2 16	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	7,6	7,10	4,02	-
2	Rectangular	35x65	2 ϕ 18 + 1 16	2 ϕ 18 + 2 16	2 ϕ 22	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	7,10	9,11	7,60	-
1	Rectangular	40x70	3 ϕ 18	2 ϕ 22 + 3 18	2 ϕ 25	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	7,6	15,23	9,81	-
0	Rectangular	20x35	3 16	3 16	-	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	6,03	6,03	-	-

Universidad Central del Ecuador

Ingeniería Civil

NIVEL	SECCION	DIM.	PORTICO L			
		(cm)	Armadura Superior	Armadura Inferior	Arm. en Apoyo Sup.	Armadura por Corte
6	Rectangular	35x65	2 ϕ 18 + 1 16	2 ϕ 18 + 1 16	-	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	7,10	7,10	-	-
5	Rectangular	35x65	3 ϕ 18	2 ϕ 18 + 1 16	-	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	7,60	7,10	-	-
4	Rectangular	35x65	4 ϕ 18	2 ϕ 18 + 1 16	-	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	10,18	7,10	-	-
3	Rectangular	35x65	2 ϕ 18 + 1 16	3 ϕ 18	2 ϕ 22	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	7,10	7,63	7,60	-
2	Rectangular	35x65	3 ϕ 18	4 ϕ 18	2 ϕ 25	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	7,6	10,2	9,81	-
1	Rectangular	40x70	4 ϕ 18	4 ϕ 18 + 2 16	3 ϕ 25	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	10,18	14,22	14,72	-
0	Rectangular	20x35	3 16	3 16	-	1 ϕ 10 @ 0,10 y 0,20
		Área (cm)	6,03	6,03	-	-

Tabla F.1 Diseño optimo para vigas, Portico 1, 4, M, L

DISEÑO ÓPTIMO_COLUMNAS			
NIVEL	DIM.	COLUMNA CUADRADA	
	(cm)	Armadura Longitudinal	Armadura al Corte
TODOS	60x60	4 25 + 8 18	1 10 @ 0,10 y 0,20
	Área (cm)	39,96	-
NIVEL	DIAM.	COLUMNA CIRCULAR	
	(cm)	Armadura Longitudinal	Armadura al Corte
TODOS	60	4 25 + 8 22	1 10 @ 0,10 y 0,20
	Área (cm)	50,04	-

Tabla F.2 Diseño optimo para columnas cuadrada y circular

ANEXO G.

DETALLES Y CONFIGURACIÓN DE UN EDIFICIO AISLADO

Esta sección es para entregar mayores detalles e información, de la estructuración de un edificio aislado y algunos aspectos importantes acerca de la implementación del sistema de aislación. Además se consultó dos de los edificios que cuentan con aislación y también se presentan algunas fotografías de ellos, que se cree son interesantes para poder visualizar como quedarían algunos aspectos al implementar el sistema de aislación en el edificio Gobernantes.

En las siguientes figuras se muestra el sistema de aislación y detalles constructivos de un edificio aislado de Chile, es el caso de la Clínica San Carlos de Apoquindo (Clínica U.C), en la cual el sistema de aislación se ubica en el cielo del subterráneo.

En las figuras contiguas se muestra la disposición de los aisladores dentro de la superestructura, se aprecia claramente que se encuentra en el eje de la columna, adicionalmente se señalan las vigas de conexión y las vigas que actuaran como tensores; en una de las figuras está el aislador con un elemento protector, el cual actúa como ignífugo para protegerlo en caso de incendio y contra agentes externos, todos los aisladores del edificio deben contar con este sistema de seguridad, ya que garantiza un mejor comportamiento ante situaciones extremas y una mayor durabilidad.



Fig. G.1. Aislador en funcionamiento



Fig. G.2. Aislador cubierto de material ignífugo

En la figura G.3 se muestra la disposición de un aislador que se ubica sobre un muro, por lo general éste se ubica en los extremos del elemento (de acuerdo a la longitud se puede ubicar uno o más aisladores en el tramo) como es el caso de la figura, apreciándose las vigas de conexión y el dado de hormigón que se genera para la placa de anclaje.

En la figura G.4 además de presentar la característica que se encuentra un aislador sobre un muro, exhibe el paso del tramo de una escalera por la interfaz de aislación, lo cual no es problema teniendo el cuidado de generar una junta en la zona de la escalera (tanto a nivel de la estructura misma de la escalera como de la baranda de ella), como la que se señala en la figura, donde se encuentra el aislador para permitir el movimiento en caso de un sismo severo y que ésta tenga como dimensión a lo menos el desplazamiento máximo.



Fig. G.3. Aislador sobre muro

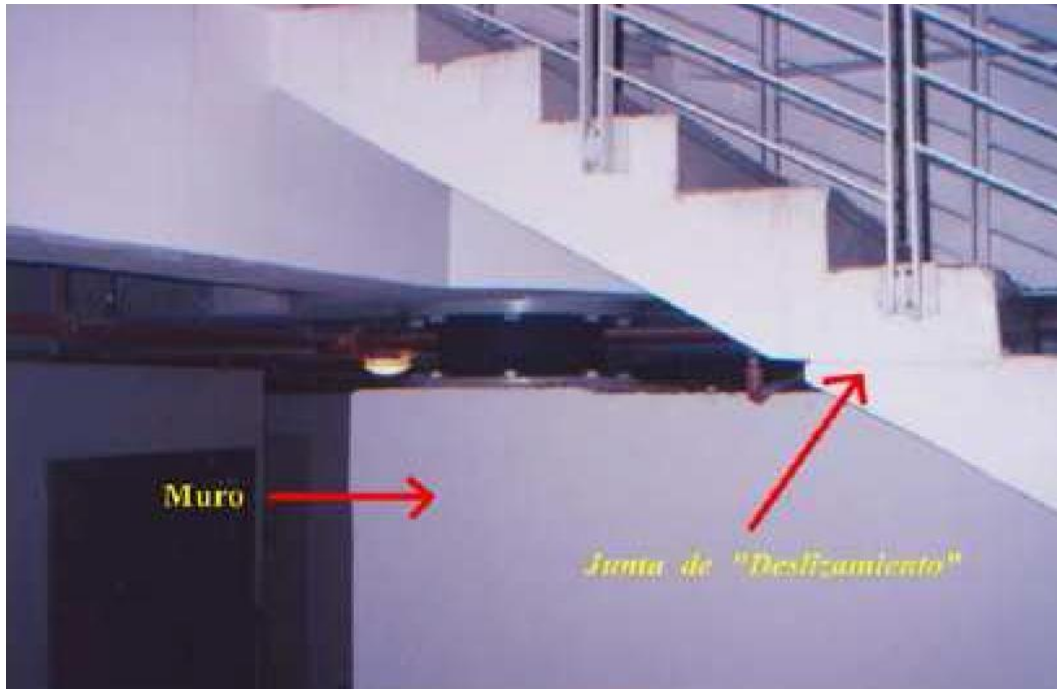


Fig. G.4. Aislador sobre muro, junta de desplazamiento

La existencia de un ascensor en una estructura aislada y más aún cuando el sistema de aislación no se ubica a nivel de cimentación, representa ciertos detalles interesantes de mencionar, por ejemplo la pareja de aisladores que se ubica en el muro que forma parte de la caja del ascensor están a nivel de cimentación, por lo cual en la zona del edificio donde se encuentra la interfaz de aislación (Cielo del subterráneo) la caja del ascensor mantiene su continuidad, pero con la salvedad que la totalidad de la estructura que comprende la caja del ascensor está unida con unos conectores de acero a la estructura aislada, con lo cual queda de alguna forma “colgada” de la estructura aislada y apoyada sobre los respectivos aisladores en el inicio del ascensor, esto para no producir incompatibilidades de desplazamiento que generen concentración de esfuerzos y posibles fallas. En la figura G.5 se muestra esta condición señalando las principales características.



Fig. G.5. Disposición del aislador en caja de ascensor

Un aspecto que es muy importante constructivamente son las conexiones flexibles, éstas se deben implementar para los servicios de agua, electricidad, alcantarillado, gas, etc.; las cuales son importantes porque evitan la rotura de las conexiones de estos servicios lo que significa: a.- Que no se producirán fugas las cuales pueden ser responsables de importantes daños, tales como inundaciones de los pisos inferiores y de incendios por efecto de las conexiones eléctricas o gas, la experiencia muestra que se han visto importantes daños por este motivo, b.- Mantiene la serviciabilidad del edificio y de los servicios básicos después de un sismo severo. Las conexiones flexibles deben ser de alta resistencia y las conexiones con la parte fija debe asegura su buen funcionamiento, la longitud del tramo flexible de ser igual a la separación

existente más el desplazamiento máximo como mínimo. En la figura siguiente se muestra una típica conexión flexible.



Fig. G.6. Conexión flexible para instalaciones

Finalmente se menciona detalles que a simple vista son de menor orden, pero que tienen importancia ponderada en el buen funcionamiento de la estructura aislada. En la figura G.7 se presenta una vista del exterior del edificio.



Fig. G.7. Juntas de desplazamiento

En la figura anterior se observa una junta entre el muro que forma parte del nivel del subterráneo que se encuentra fijo y su continuidad en la parte del edificio aislado, esta junta tiene como finalidad permitir el desplazamiento relativo, sin el cual no sería total el efecto de la aislación, además existe una separación correspondiente al desplazamiento máximo con un muro perimetral. En la figura G.8 se muestra un detalle muy sencillo, una rampa de acceso, pero con la cual deben tenerse consideraciones; tanto en la estructura mostrada en la fotografía la mejor disposición es que la rampa se encuentre anexada a la estructura aislada y simplemente apoyada sobre la parte fija para permitir el desplazamiento, con una longitud adecuada para que durante un sismo severo se asegure siempre la conectividad para el paso de las personas.



Fig. G.8. Detalle, rampa de acceso

ANEXO H

COLOCACIÓN DE AISLADORES EN UNA ESTRUCTURA EXISTENTE

Se ve conveniente mostrar un procedimiento para la colocación de aisladores elastoméricos en una estructura existente, se lo hará en forma de animaciones para su mejor comprensión, este proceso consta de los siguientes pasos:

1.-

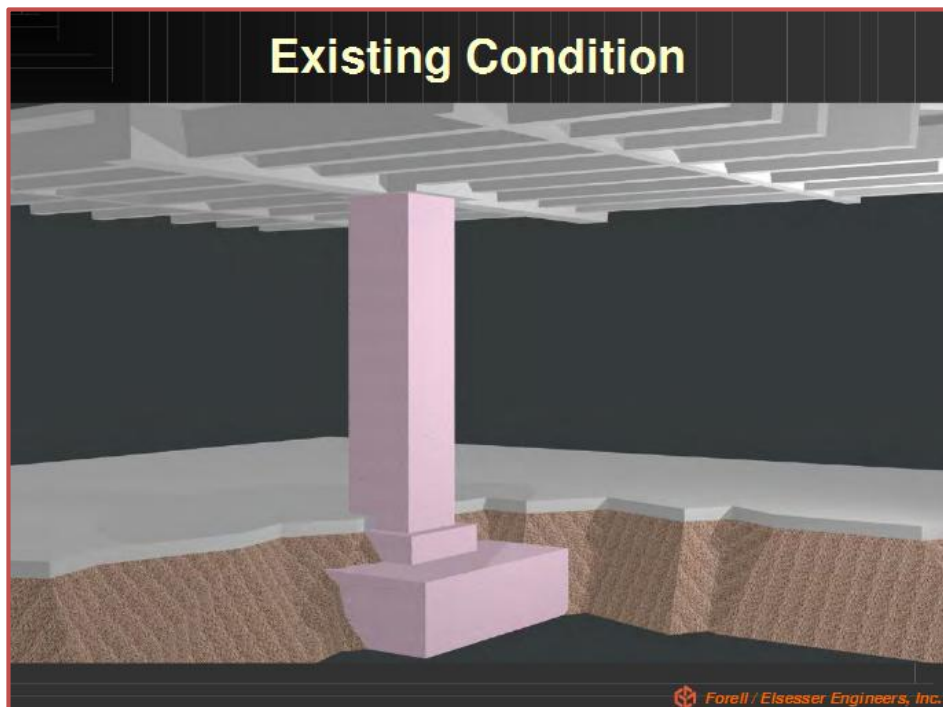


Fig. H.1. Condición existente

2.-

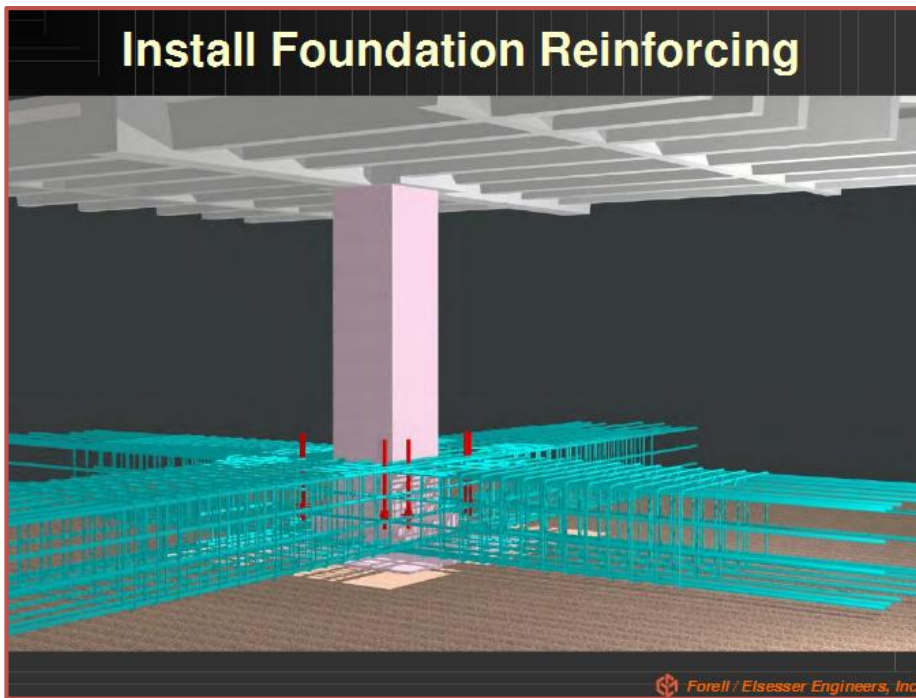


Fig. H.2. Instalación de refuerzo en la cimentación

3.-

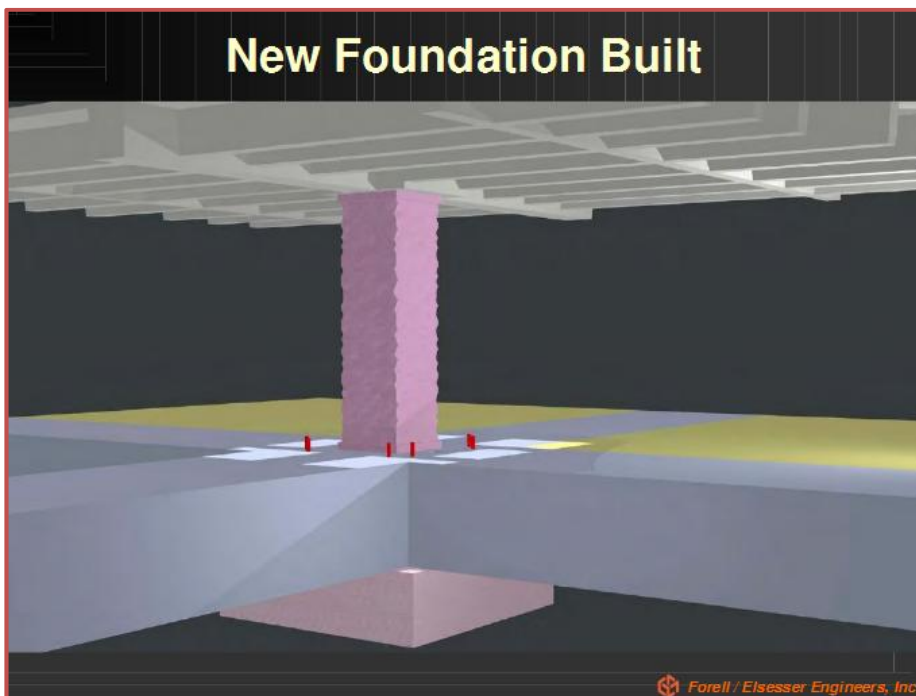


Fig. H.3. Construcción adicional en la cimentación

4.-

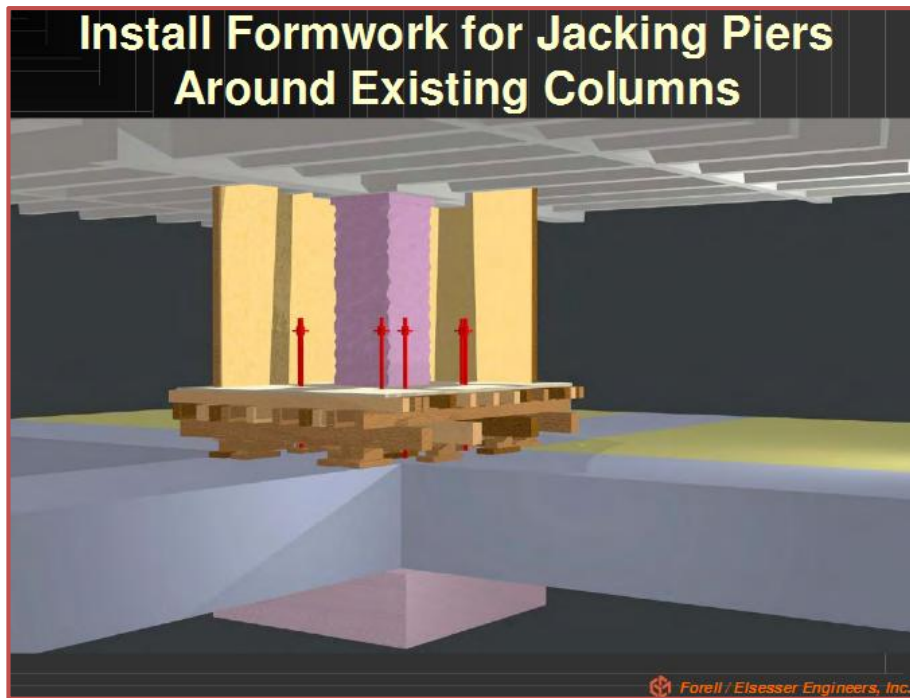


Fig. H.4. Instalación de encofrados alrededor de las columnas

5.-

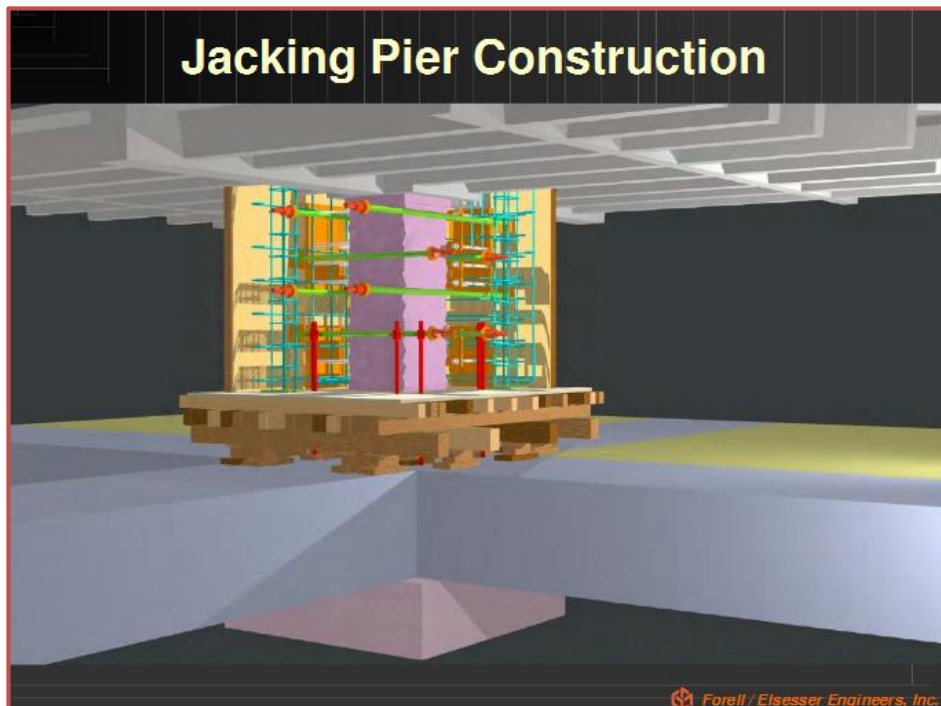


Fig. H.5. Instalación de estructura interna para la “gata”

6.-

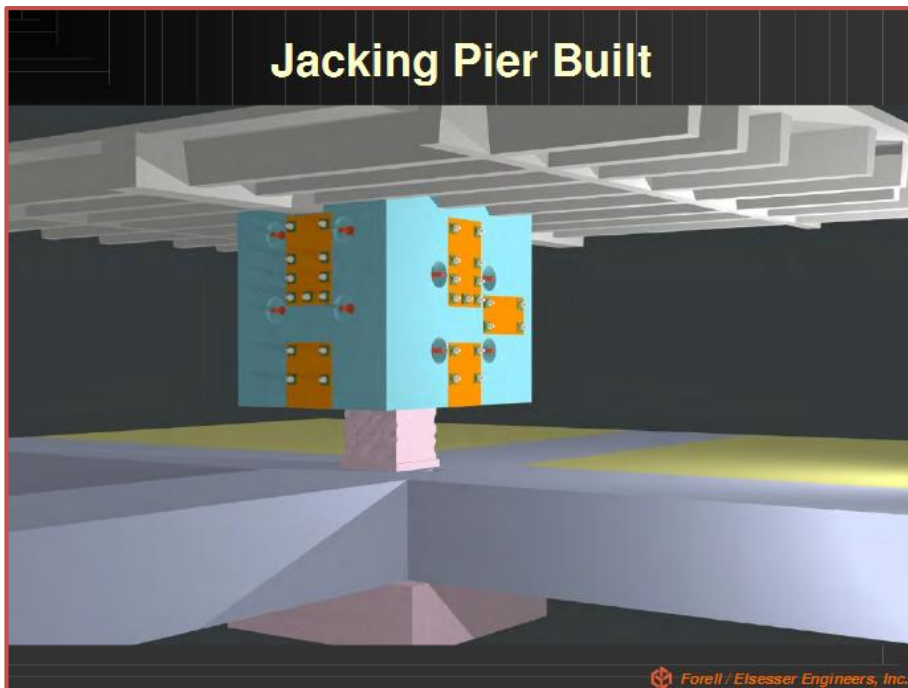


Fig. H.6. Apoyos externos construidos

7.-

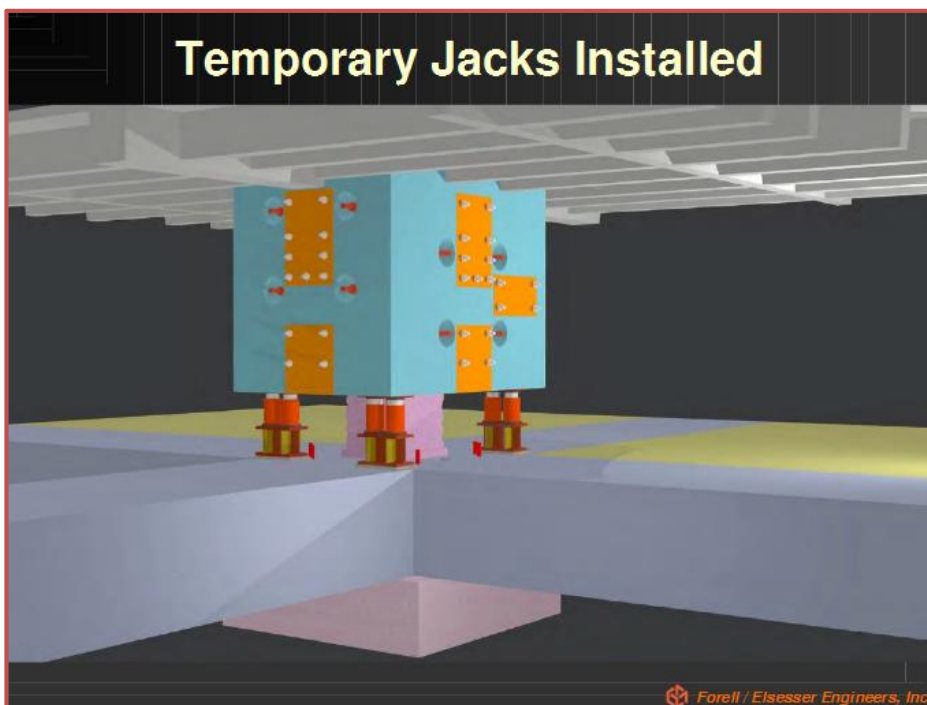


Fig. H.7. Instalación de "gatas" temporales

8.-

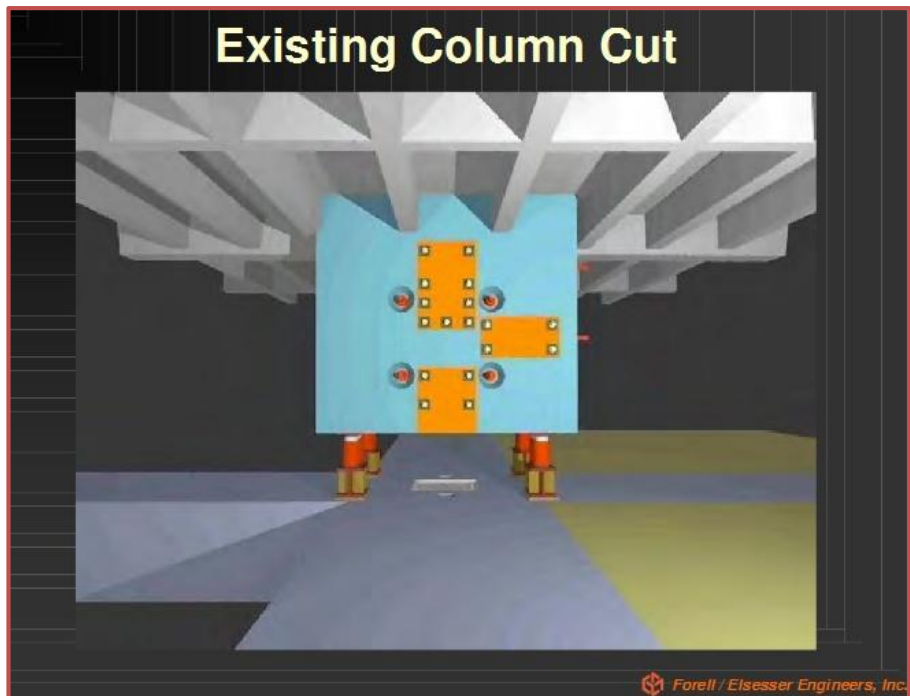


Fig. H.8. Corte de columna existente

9.-

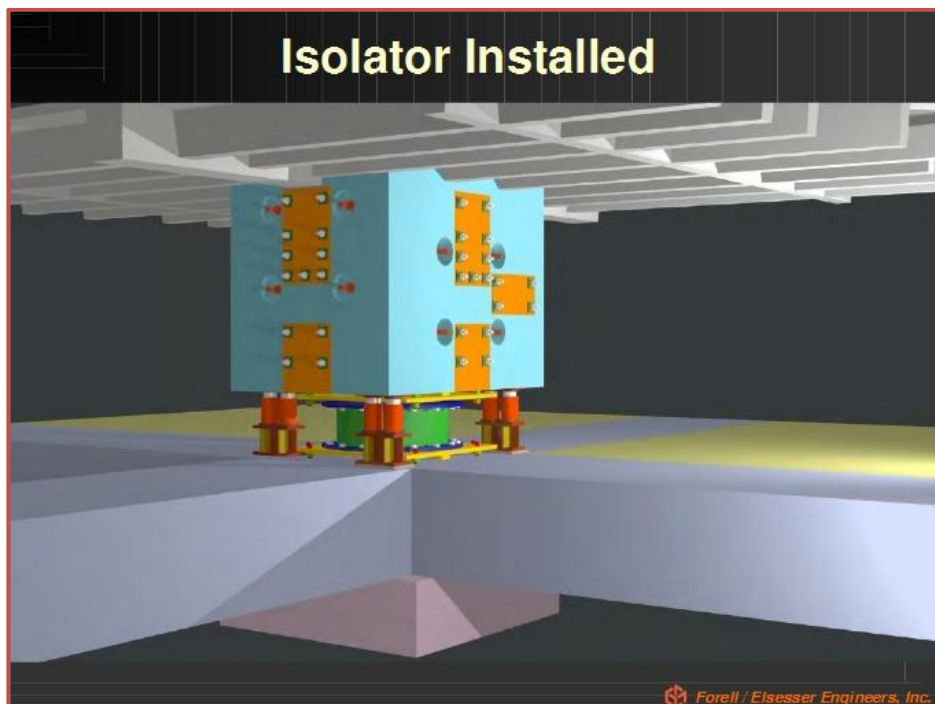


Fig. H.9. Instalación del aislador

9.1.-

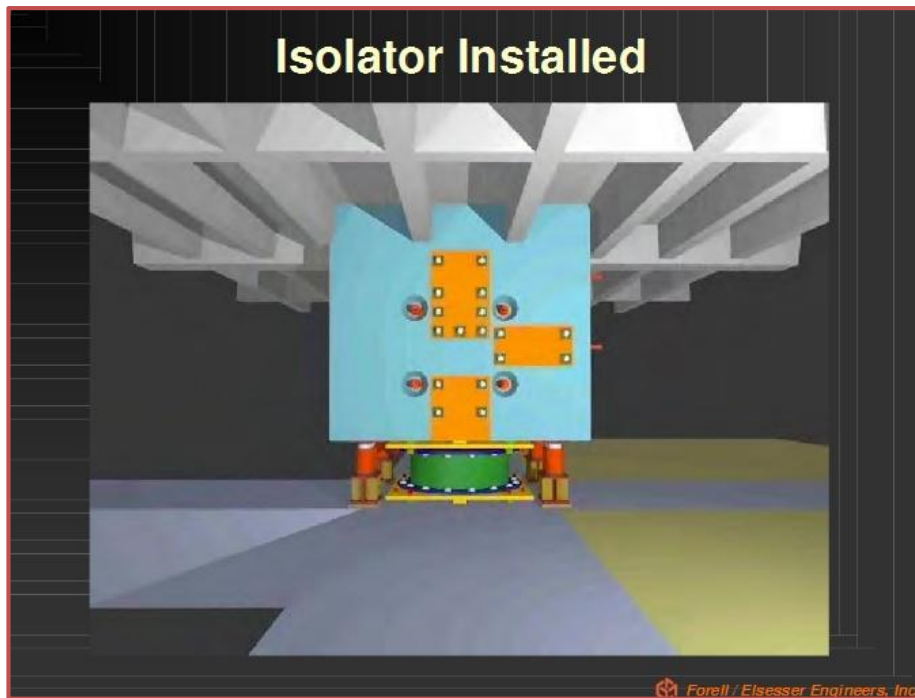


Fig. H.9.1. Instalación del aislador 2

10.-

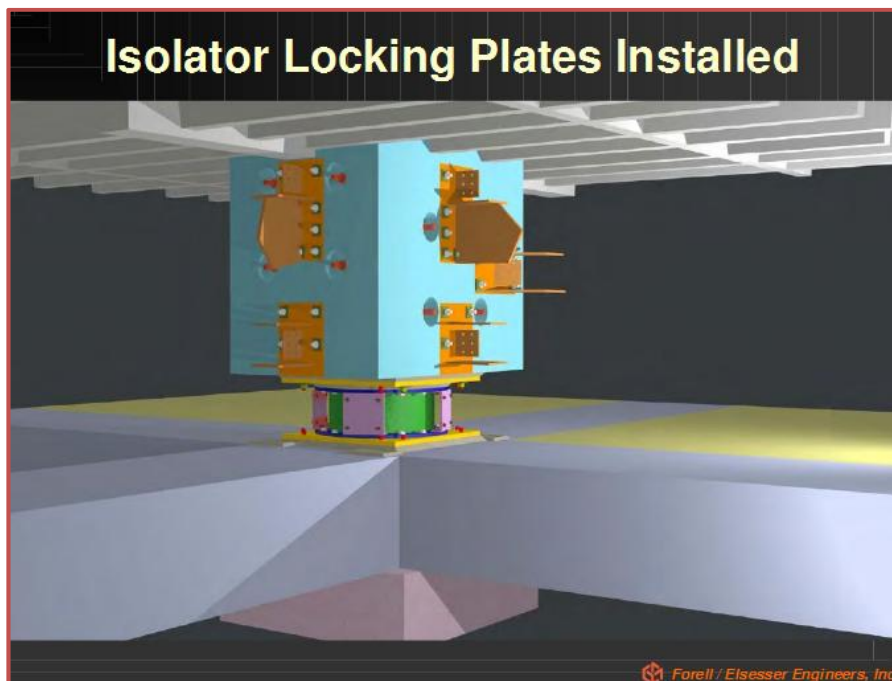


Fig. H.10. Instalación de placas de bloqueo en el aislador

11.-

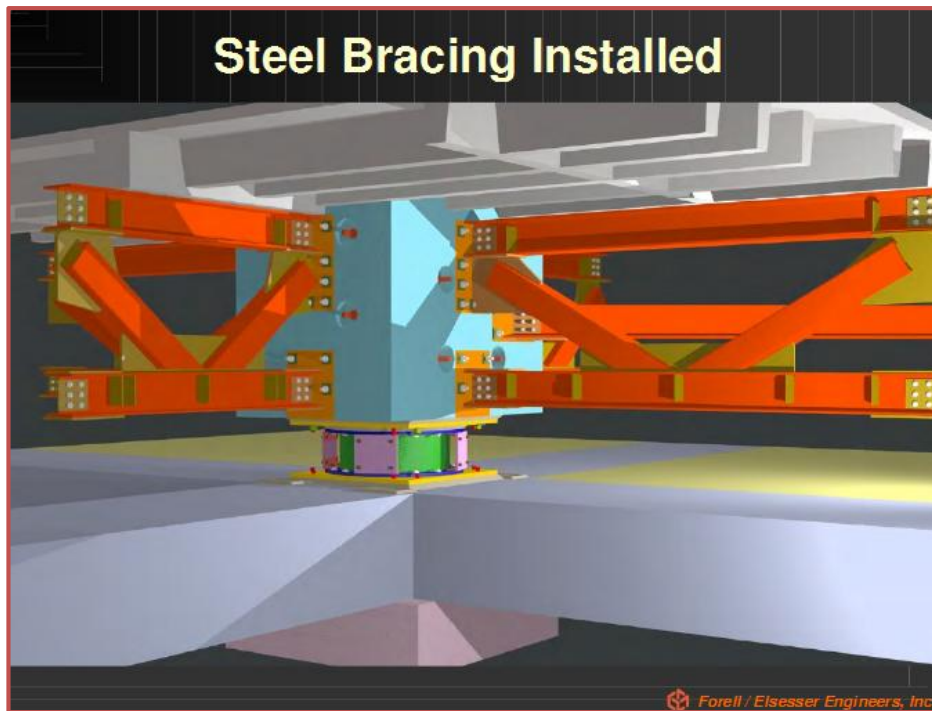


Fig. H.11. Refuerzos de acero instalados

12.-

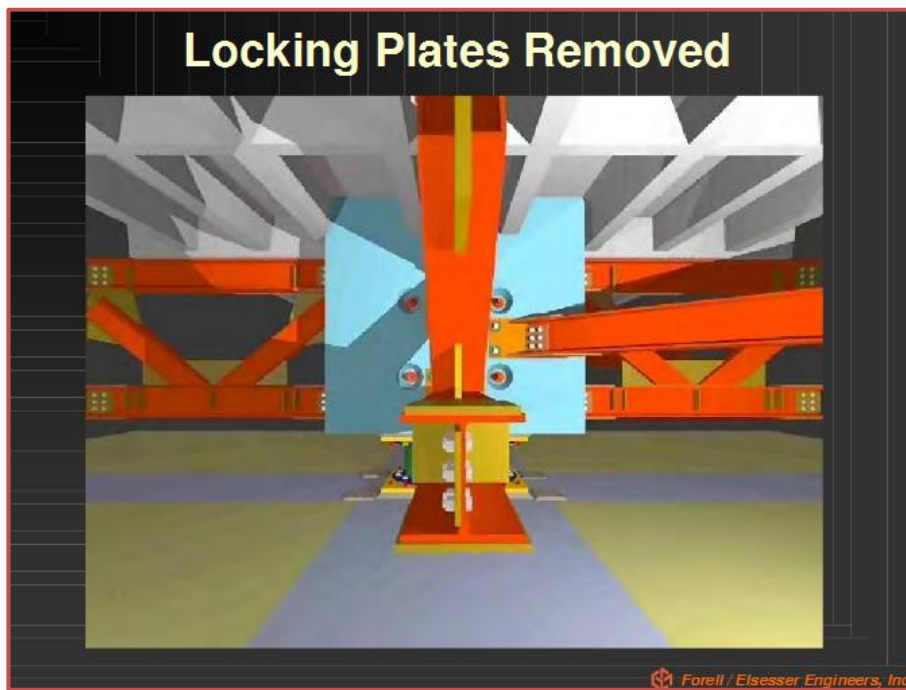


Fig. H.12. Remoción de las placas de bloqueo del aislador